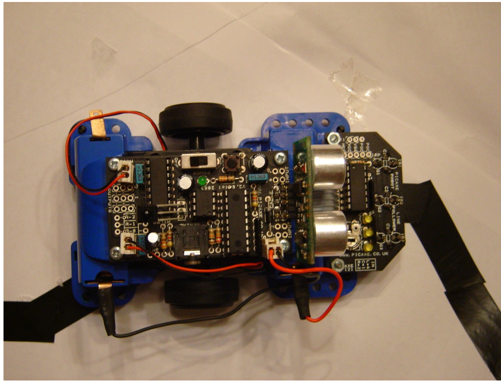
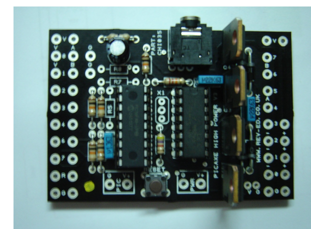


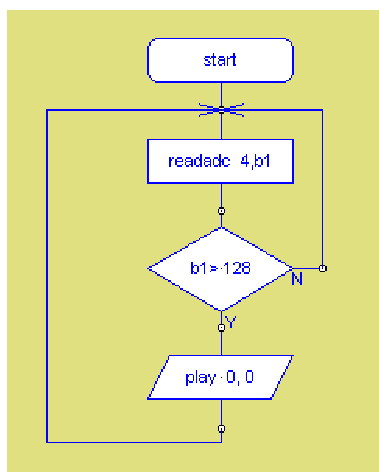
```
main:
            low 4
            low 5
label_1F:   if pin2=1 then label_61
            goto label_1F

label_61:   readadc  0,b0
            let b1= 255-b0
            high 4
            pause b0
            low 4
            pause b1
            if pin6=1 then label_3D
            goto label_61

label_3D:   if pin2=1 then label_3D
label_7F:   readadc  0,b0
            let b1= 255-b0
            high 5
            pause b0
            low 5
            pause b1
            if pin7=1 then label_A5
            goto label_7F


label_A5:
            goto label_1F
```

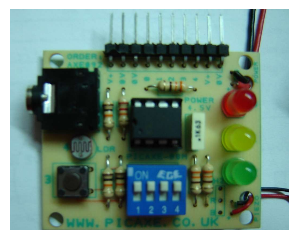
Microcontroladors PICAXE:

Electrònica didàctica al segle XXI

Jordi Orts







Microcontroladors PICAXE. Electrònica didàctica al segle XXI
Jordi Orts

1a Edició, octubre 2007

Aquest llibre ha estat redactat íntegrament amb OpenOffice.org, i ha estat maquetat i exportat a PDF amb aquesta mateixa eina. Les imatges han estat retocades amb GIMP.

Trobareu la darrera versió d'aquesta obra a la web de l'autor:
http://www.jorts.net

Podeu contactar l'autor a jordi@jorts.net

Agraïments

Gràcies a tots aquells que han fet
que aquest treball hagi donat finalment el seu
fruit, i sobretot aquells que m'han aguantat
en els moments més durs.

Aquestes paraules són d'una ex-alumna meva, i encapçalen el seu treball de recerca, que vaig tenir el plaer de tutoritzar fa ja uns quants anys. Faig meves les seves paraules. I és que, com quasi totes les vegades, ella té raó.

Realment la gent que està al teu costat és la que et dona alè per continuar i enllestir la feina. I és la que rep més directament els sacrificis de l'esforç realitzat. Família, companys, amics, alumnes ... Tots ells m'han encoratjat per tirar endavant aquest llibre. I tots ells han patit aquesta dedicació meva. Però, com moltes altres vegades, penso que ha merescut la pena l'esforç realitzat. Espero que tu, lector, estiguis d'acord.

Pròleg

En aquest document s'han estructurat i sintetitzat els coneixements tècnics sobre els PICs de PICAXE però amb una visió didàctica adaptada a la realitat del nostre sistema educatiu i dels nostres centres de secundària. Recull un conjunt de propostes de treball a l'aula de tecnologia adequades per a l'ESO i el batxillerat, amb una obertura àmplia en els treballs de recerca.

És una proposta innovadora en l'àmbit de l'electrònica i l'automatització programable en la que s'imbrica el coneixement actual de la indústria d'aquest sector amb la didàctica per fer-ho assequible als nostres estudiants i crear coneixement i desvetllar interès i motivació pels estudis i les professions de caràcter tècnic, que es troben en recessió en la nostra societat.

Aquest document és el fruit de molts anys de treball d'en Jordi Orts. És el resultat de l'experiència docent a l'aula, un esforç no sempre reconegut en el nostre sistema, i, molt sovint, sense els canals adequats per difondre el resultat d'aquest treball laboriós que avui el Jordi posa a l'abast de tota la comunitat educativa. Amb el valor de fer-ho públic, sense ànim de lucre ni d'obtenir avantatges personals, acollint-se a una llicència d'ús lliure. Per tant, cal fer palès un reconeixement a la seva tasca i la voluntat de cedir-lo a la comunitat de docents de tecnologia del nostre país, que de ben segur, representa un impuls a l'actualització científico-didàctica de l'àrea de tecnologia.

Jordi Regalés

Prefaci

Fa ja uns quants anys vaig tenir l'oportunitat d'assistir com a ponent a les *VIII Jornadas de Tecnología* organitzades pel CFIE Valladolid II. I allí vaig tenir el meu primer contacte amb els PICAXE. Em van impressionar tant, encaixava tant bé en el forat que trobava en les dotacions de les aules, que aquell mateix curs els vaig introduir en les pràctiques dels meus alumnes de 1r de batxillerat i 4t d'ESO a l'IES Príncep de Viana de Barcelona, amb molt bons resultats.

Amb els anys jo i els meus alumnes vam aprofundir molt més en aquest món dels PICAXE. Vam fer alguns treballs de recerca (un dels quals va guanyar un premi CIRIT), vaig escriure alguns articles i vaig presentar algunes ponències organitzades per l'APTC (Associació del Professorat de Tecnologia de Catalunya) i l'AulaTec (Aula de Recursos de Tecnologia). Finalment, els companys de l'aula de recursos de Tecnologia em van proposar de fer uns tallers a finals del curs passat. Va ser tal l'èxit que vam haver de repetir-los. Més de seixanta professors hi van assistir. Enguany tinc programats 4 tallers més...

D'aquests tallers va sorgir una demanda molt concreta: necessitàvem documentació en la nostra llengua. Jo en tenia molta experiència... Em vaig comprometre arrossegat per l'entusiasme dels meus companys... El resultat és el llibre que teniu en les vostres mans (o en la pantalla del vostre ordinador). Espero que us sigui útil.

Bona feina!

Jordi Orts

Barcelona, setembre de 2007

Índex

Annexos

Introducció

L'electrònica és una de les disciplines més interessants i motivadores a nivell de l'ensenyament tecnològic:

- El baix cost dels components permet fer pràctiques en petits grups, evitant les lliçons magistrals. Fins i tot podem fer petits circuits que els alumnes es puguin portar, ensenyar a pares i amics, amb una utilitat evident i amb un cert grau de sofisticació, però sense deixar de estar a l'abast dels seus coneixements.

- El mètode de projectes es pot practicar amb tota la seva dimensió. La cerca d'informació disposa d'una bona font de recursos a la Internet, on trobem els datasheets dels fabricants i milers d'experiències, dissenys i consells de molts dissenyadors. El disseny del circuit implica la utilització intensiva de la simbologia en els esquemes, així com del càlcul de resistències limitadores i altres paràmetres. El disseny de la placa de circuit imprès obliga a utilitzar la tècnica d'assaig i error fins trobar la solució més optimitzada. Fins i tot la mecanització del projecte ens porta una altra vegada a la normalització. El càlcul del pressupost és fàcil donada la informació disponible a la xarxa ...

- Estem parlant d'una tecnologia que és omnipresent a la nostra societat: ordinadors, electrodomèstics, jocs, comunicacions... L'alumne està familiaritzat amb aquests components, amb les seves aplicacions. La seva curiositat és un element que hem de saber aprofitar.

Aquesta omnipresència de l'electrònica ha permès un desenvolupament inimaginable fa uns anys en les tecnologies empleades. Un dels millors exponents son els circuits integrats PIC. Es tracta de petits circuits integrats programables de baix cost, que han desplaçat antics dissenys i han simplificat molt aquesta indústria. En aquest llibre ens centrarem en aquests components, aprofitant que l'empresa britànica Revolution Technology ha simplificat molt la

seva utilització en l'entorn educatiu, facilitant la seva programació i la seva connexió amb d'altres components.

I. Un exemple pràctic

Quin és l'avantatge d'utilitzar un PIC? Veiem un exemple d'utilització, molt senzill, però que ens permetrà un primer contacte amb l'entorn de treball amb aquests components.

Suposem que volem fer un llum intermitent, per exemple un LED que s'encengui i s'apagui cada segon. Fa uns anys ens caldria un circuit amb transistors que amb la càrrega i descàrrega d'un condensador controlés el LED. O bé utilitzar un circuit integrat 555 configurat en mode astable. En els dos casos ens caldria calcular les constants de temps RC per consignar els temps d'intermitència. També és cert que avui en dia comptem amb LEDs que són intermitents, però amb uns temps prefixats pel fabricant.

Nosaltres podem dissenyar aquest projecte amb el nostre PIC amb pocs i ràpids passos:

- Primer definiríem a quines sortides connectem els nostres actuadors, en el nostre cas el nostre LED. El podríem, connectar, per exemple, a la sortida pin1. Una vegada definida la connexió, podríem muntar el circuit, que ha d'incloure la interfície de programació (un connector jack estèreo i dues resistències) i l'alimentació (3 piles de 1,5V).

- Després dissenyaríem a l'ordinador el circuit de control, en diagrama de flux o en BASIC. En el nostre cas un programa BASIC molt senzill ens farà el servei:

```
' LED intermitent

inici:  high 2
        wait 1
        low 2
        wait 1
        goto inici
```

- Finalment carreguem el programa en el PIC i comprovem el seu funcionament. Si trobem qualsevol problema, podem modificar el programa i enviar la nova versió al PIC.

Si treballem amb protoboards per simplificar la connexió dels components, en pocs minuts tindrem el nostre circuit en funcionament, especialment cert si utilitzem qualsevol de les plaques de desenvolupament disponibles, que inclouen el PIC i la interfície de programació. Algunes d'elles, com la AXE092, fins i tot inclouen diferents components estàndard com ara LEDs, brunzidors, LDR, polsador, de forma que aquesta part de connexió es redueix a escollir els components connectats configurant la placa amb uns interruptors DIP.

Si volem fer un circuit imprès, trigarem una mica més, depenent de la tècnica utilitzada (circuit de prototips, tècniques fotogràfiques, fressat ...) De totes maneres, és molt recomanable primer fer les proves amb una protoboard i després, una vegada vista la viabilitat del disseny, passar a un disseny optimitzat del PCB.

II. Microcontroladors PIC

Els PIC (Peripheral Interface Controller) són uns microcontroladors fabricats per Microchip Technology Inc. Aquesta empresa va lliurar fins el novembre de 2006, cinc mil milions d'aquests xips, en més de 400 versions diferents. És corrent trobar-ne en els comandaments a distància, joguines, sistemes informàtics ... Les claus del seu èxit són, bàsicament, la seva flexibilitat, el seu baix cost i la facilitat de programació.

Els PICs, són uns microcontroladors, que porten integrat un microprocessador, memòria (en el seu cas de tipus flash) per emmagatzemar el programa i les dades, així com l'electrònica necessària per rebre i enviar senyals a l'exterior. Es pot connectar un LED amb una resistència limitadora a una sortida del PIC i comandar-lo sense necessitat de cap component extra. De la mateixa manera, amb un divisor de tensió podem connectar-los a una interfície RS-232C, o llegir l'estat d'un polsador. Moltes vegades s'han definit els microcontroladors com a ordinadors en un xip.

III. Microcontroladors PICAXE

Avui en dia podem utilitzar una versió didàctica dels PICs gràcies a l'empresa britànica Revolution Education Ltd, que va comercialitzar els PICAXE uns PICs pre-programats amb un intèrpret BASIC, juntament amb les eines, gratuïtes, per programar-lo amb un editor de programació, en dos formats de treball, en BASIC i en diagrama de flux. També va elaborar i difondre molts documents sobre la seva connexió amb altres components.

Podem trobar tots aquests documents i dissenys, així com l'editor de programació gratuït a la web del fabricant, http://www.picaxe.com/

La varietat de microcontroladors PICAXE és al voltant d'una dotzena de models, que cobreixen amb flexibilitat totes les necessitats educatives: des del disseny amb el PICAXE-08 d'una senzilla joguina electrònica, com el disseny, amb el PICAXE-28X, d'una completa estació meteorològica.

A la vista de la taula adjunta pot semblar que la seva capacitat de programació és molt limitada, ja que el nombre de línies de programa no supera les 100 en la majoria dels casos. No ens enganyem: es tracta de línies de programa BASIC, amb comandes molt potents que amb poques dotzenes de línies aconseguim resultats espectaculars. De totes maneres, recordem que aquests xips s'utilitzen per a aplicacions senzilles: joguines, alarmes, captura de dades, control ...

Les versions més avançades incorporen, a banda d'un nombre superior de potes d'entrada/sortida, altres funcionalitats com convertidors A/D de 10 bits de resolució, lectura de teclats estàndard PS2 d'ordinador PC, lectura de codis de comandaments a distància per infrarojos, o la interfície I2C, que permet la connexió de diferents perifèrics compatibles amb aquesta interfície: rellotge en temps real, memòries EEPROM, teclats i pantalles ...

Aquesta flexibilitat dels PICAXE obliga a que moltes de les seves potes tenen assignada més d'una funció. Segons el nostre disseny haurem d'escollir quines

funcions utilitzem i a quines renunciem, ja que moltes vegades només podem utilitzar una funcionalitat a cada pota. Una bona referència sobre aquest tema la trobem a http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual1.pdf. També hi trobareu el manual de programació en BASIC (picaxe_manual2_es.pdf, traduït al castellà i que s'instal·la amb les darreres versions de l'editor) i el manual de circuiteria electrònica (picaxe_manual3.pdf)

Component	**Potes**	**Línies de me-mòria**	**Pins I/O**	**Sortides**	**Entrades**	**ADC**	**Memòria de dades**	**Inte-rrup-cions**
PICAXE-08	8	40	5	1-4	1-4	1L	128-prog	No
PICAXE-08M	8	80	5	1-4	1-4	3	256-prog	Si
PICAXE-14M	14	80	11	6 (3-9)	5 (2-8)	2 (2-5)	256-prog	Si
PICAXE-18	18	40	13	8	5	3L	128-prog	No
PICAXE-18A	18	80	13	8	5	3	256	Si
PICAXE-18X	18	600	14	9	5	3	256+i2c	Si
PICAXE-28A	28	80	22	8	8	4	64+256	Si
PICAXE-28X	28	600	23	9-17	0-12	0-4	128+i2c	Si
PICAXE-28X1	28	1000	23	9-17	0-12	0-4	128+i2c +128	Si
PICAXE-40X	40	600	32	9-17	8-20	3-7	128+i2c	Si
PICAXE-40X1	40	1000	32	9-17	8-20	3-7	128+i2c +128	Si

IV. La web del fabricant

Amb el vostre navegador carregueu l'adreça http://www.picaxe.com/, una drecera a la web del fabricant, http://www.rev-ed.co.uk/picaxe/

A la part superior de la web trobareu dues icones en forma de bandera per a accedir a la versió castellana o a la versió anglesa. Penseu que la versió anglesa és la més actualitzada, per la qual cosa recomanem utilitzar aquesta versió, especialment per aconseguir les darreres versions de programari o de documentació.

Figura 1: Web del fabricant

Podem descarregar el programari des de la pestanya *Software*. Per baixar el programa se'ns demanarà que ens registrem al portal amb un e-mail. Una vegada registrats, podrem també participar en els fòrums de suport del fabricant, on trobarem moltes idees i informacions interessants.

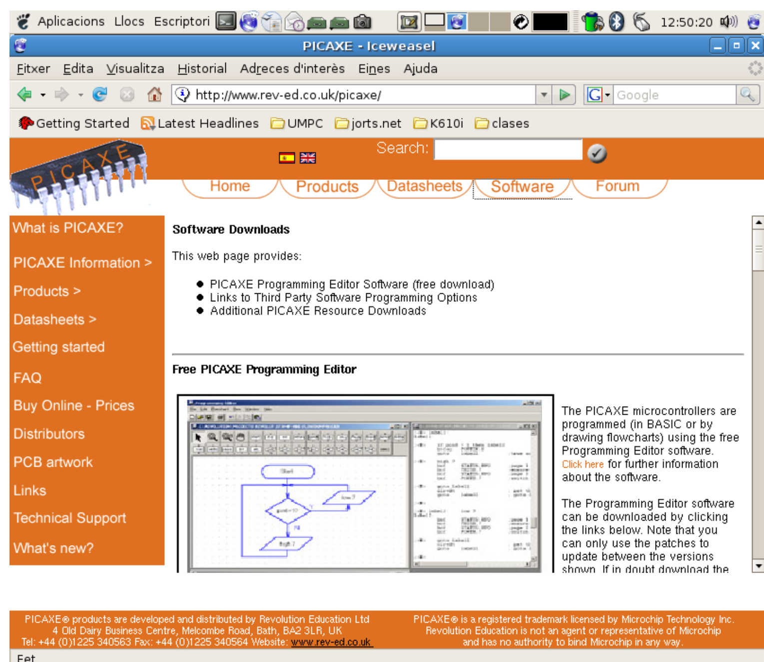


Figura 2: Descarrega del programari

La documentació en línia

Podem accedir a la documentació des de la pestanya *Datasheets*

Figura 3: Accés a la documentació en línia

Especialment interessants són els documents llistats a *Picaxe Manual*. Podem accedir a la totalitat dels documents amb l'enllaç *All Picaxe datasheets*

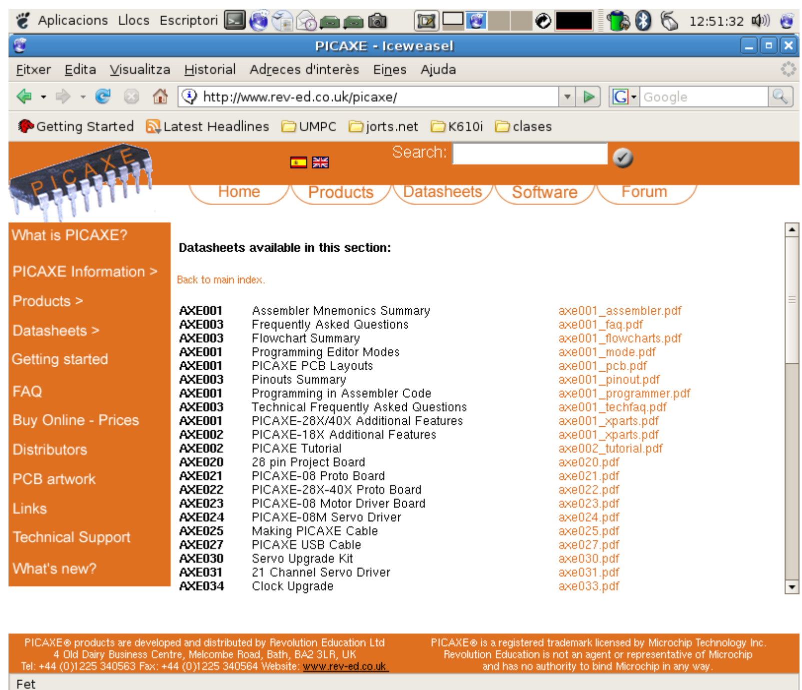


Figura 4: Datasheets del fabricant

Accedim a la versió castellana clicant a la bandera espanyola.

A la pestanya *Fichas* accedim a la documentació en castellà.

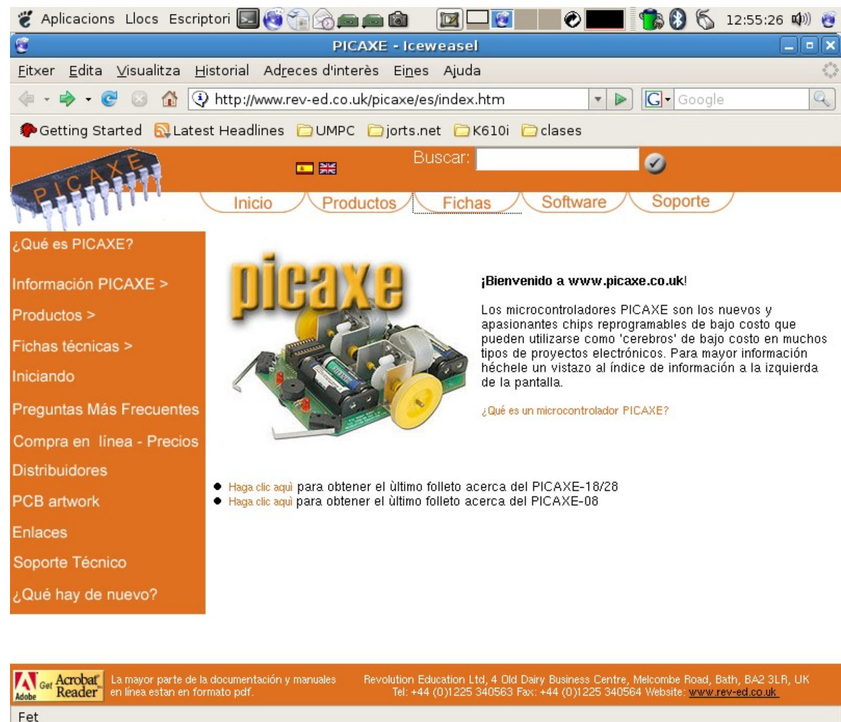


Figura 5: Versió castellana de la web del fabricant

A l'enllaç *Todas las fichas tècnicas* accedim a la totalitat de documents, tant en anglès (compte, potser no tan actualitzats com a la versió anglesa) com en castellà (els identifiquem pel sufixe es al seu nom.

Figura 6: Documentació en castellà

Un document molt recomanable per a lliurar als alumnes és el *axe101_es.pdf*, que tracta d'un projecte de mascota electrònica, i on fa una revisió general de l'entorn PICAXE i dels components electrònics bàsics que es poden connectar. De fet, és una lectura imprescindible per als no iniciats en aquest món.

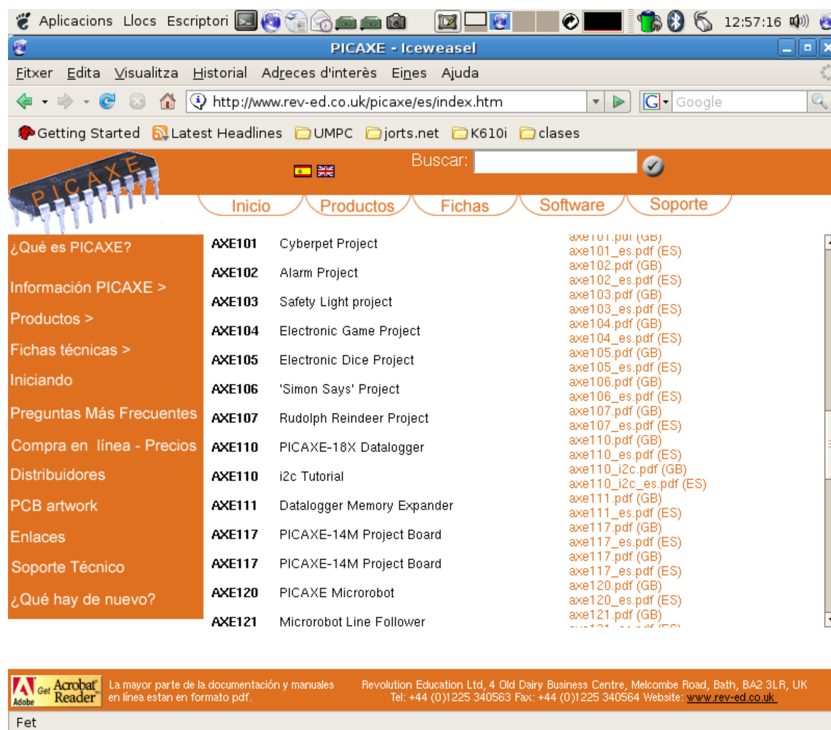


Figura 7: Llistat de documents en castellà

La botiga en línia

Figura 8: Botiga en línia

Podem accedir a la botiga en línia mitjançant l'enllaç *Buy online – Prices* que trobarem a la columna esquerra de la web anglesa, i que ens portarà a l'adreça http://194.201.138.187/epages/Store.storefront/?ObjectPath=/Shops/Store.TechSupplies

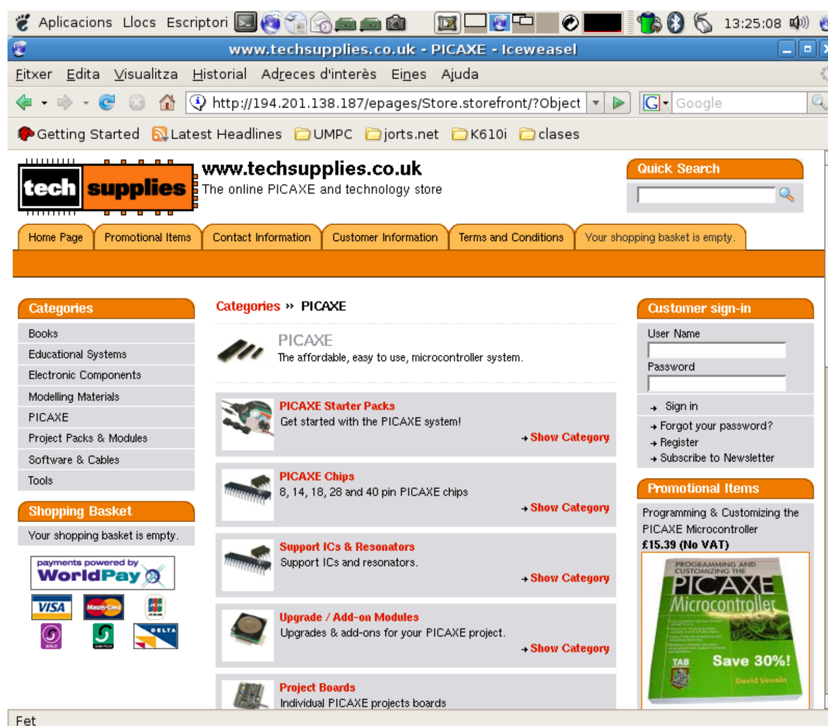


Figura 9: Botiga en línia, productes PICAXE

Seleccionarem al menú de l'esquerra l'apartat *PICAXE*.

Per poder comprar en aquesta web ens caldrà obrir un compte i utilitzar una targeta de crèdit (VISA ...). El servei és molt bo, encara que el transports encareix els productes, especialment si compren poques unitats.

V. Alimentació i comunicació

Alimentació dels microcontroladors PICAXE. El circuit integrat regulador de tensió 7805.

La tensió d'alimentació dels PICAXE és d'entre 3 i 6V. Els valors exactes depenen del xip de Microchip utilitzat, per tant el millor és consultar el datasheet de Microchip concret. Encara que podem fer funcionar aquests xips amb dues piles de 1,5 V (3V), és recomanable treballar amb un mínim de 4,5V per poder programar els xips. Ho podem aconseguir amb 3 piles alcalines de 1,6V (4,8V) o 4 bateries recarregables de NiCd de 1,2V (4,8V), o amb una font d'alimentació estabilitzada de 5V. Aquesta tensió estabilitzada la podem aconseguir amb el circuit integrat 7805, com a l'exemple següent

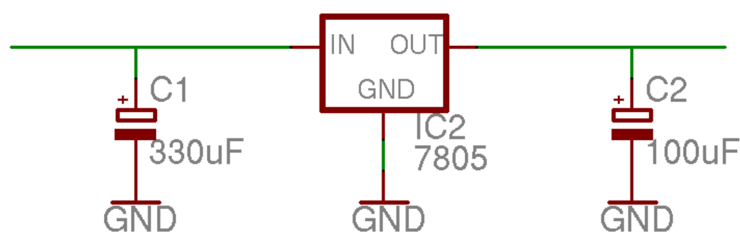


Figura 10: Connexió de 7805

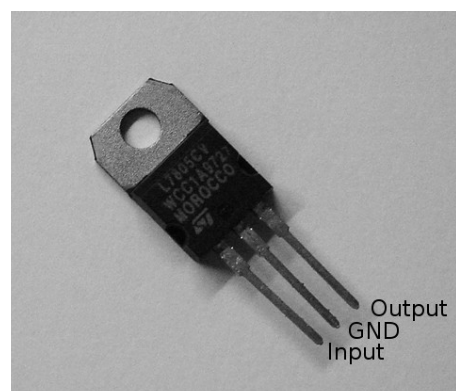
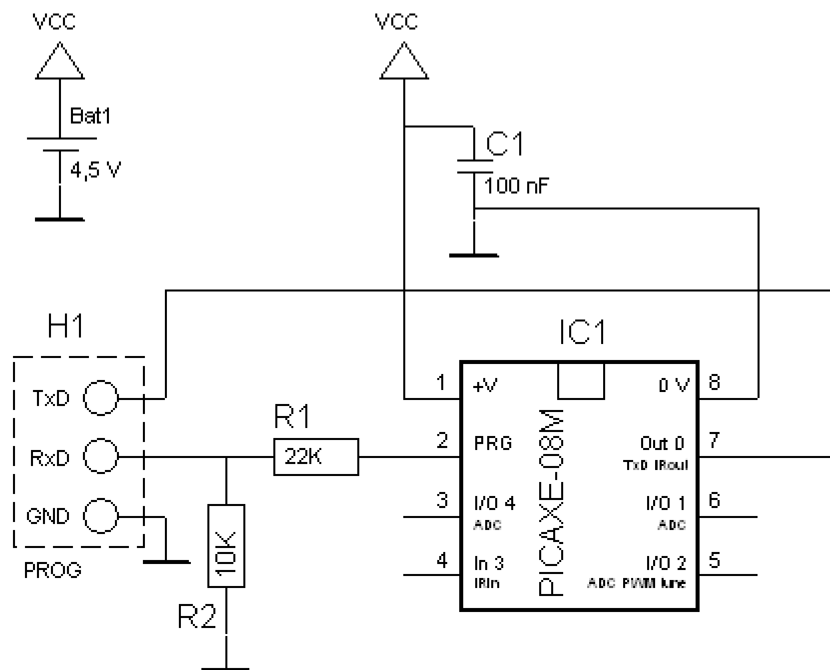


Figura 11: Pinout del 7805

En qualsevol cas sempre és aconsellable connectar un condensador de 100nF entre les potes d'alimentació i massa del PICAXE, tant a prop del xip com sigui possible.

El circuit de programació dels microcontroladors PICAXE

Un de les principals avantatges dels xips PICAXE és que podem programar-los directament en els nostres circuits, afegint uns pocs components. La interfície de programació consta de dues resistències i un connector jack estèreo.



Molt important! Si no volem incloure el circuit de programació caldrà connectar a 0V la pota 2 (PRG).

Figura 12: Circuit de programació

Aquesta interfície permet també enviar dades amb el protocol RS-232C a un ordinador o a un altre xip quan executem el programa (ordre sertxd), però no la recepció de dades, ja que la pota 2 (PRG) està preparada per interrompre el programa i carregar-ne un de nou. Per això és important fixar a 0V aquesta pota quan no implementem la interfície de programació, ja que un valor flotant podria provocar falses interrupcions de càrrega de programa.

Comunicacions sèrie RS-232C. El circuit integrat MAX232.

Podem utilitzar el mateix tipus d'interfície empleada a la programació per connectar altres potes del PICAXE amb el protocol RS-232C. Ara bé, si volem una interfície que compleixi tots els estàndards del protocol RS-232C, hauríem d'utilitzar el xip MAX232

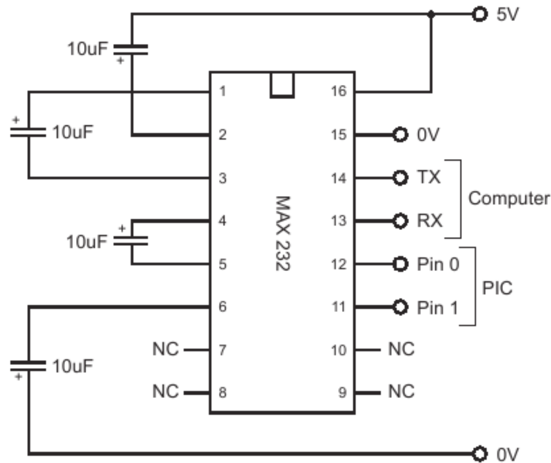


Figura 13: Connexió del MAX232

Aquest xip necessita uns condensadors externs per generar els voltatges directes i inversos del protocol RS-232C. Especial atenció amb el condensador entre la pota 2 i l'alimentació de 5V: la pota marcada com a negativa va connectada a 5V, ja que a la pota 2 es generen 10V. Igual sorpresa ens podem portar entre la pota 6 (generació de -10V i massa).

Les potes 7 a 10 també es poden utilitzar per convertir els nivells d'una altra parella d'entrada/sortida.

Mesures de seguretat. Díodes Shottky i díodes Zener.

Un tema important és la protecció de les entrades. Pensem que molts circuits integrats es fan malbé amb tensions negatives de -0,3V o tensions positives per sobre de la tensió d'alimentació.

Podem evitar les tensions negatives amb díodes de tipus Schotky, com ara el BAT85, que tenen un gap molt baix. Amb el díode polaritzat de forma inversa entre l'entrada i 0V, el díode absorbirà qualsevol tensió negativa per sobre del seu gap.

Igualment, podem protegir la nostra entrada de sobretensions amb un díode zener, per exemple el BZX85C4V7 (4,7 V) si treballem amb piles, o el BZX85C5V1 (5,1 V) si treballem amb el 7805.

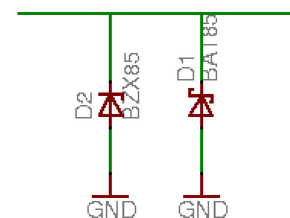


Figura 14: Díodes Zener i Shottky

VI. Els sistemes de control

Els nostres PICAXE mostren totes les seves possibilitats en els sistemes de control. Si bé la robòtica és la branca més coneguda i espectacular, no hem de menysprear altres aplicacions com ara el control de transit o la pressa de dades.

Controladors, sensors i actuadors.

El nostre PICAXE actua com a controlador, es a dir, com a cervell del nostre sistema.

Les entrades i sortides permeten connectar els sensors i actuadors al nostre PIC. D'aquesta manera comunicar-se amb el món i l'usuari.

Recordem que hi ha dos tipus de senyals, els analògics i els digitals. Segons aquesta tipologia canviarà la forma de connexió dels dispositius, així com la pota del PIC a la qual s'han de connectar.

Hi ha sensors i actuadors molt sofisticats, amb un preu molt interessant, i alhora molt fàcils d'emprar. Els fabricants contínuament aporten innovacions en les prestacions i en la reducció de costos. Projectes que abans semblaven impossibles de fer, per complexitat o pel seu cost, avui en dia es poden resoldre de forma molt senzilla, si escollim adequadament els components.

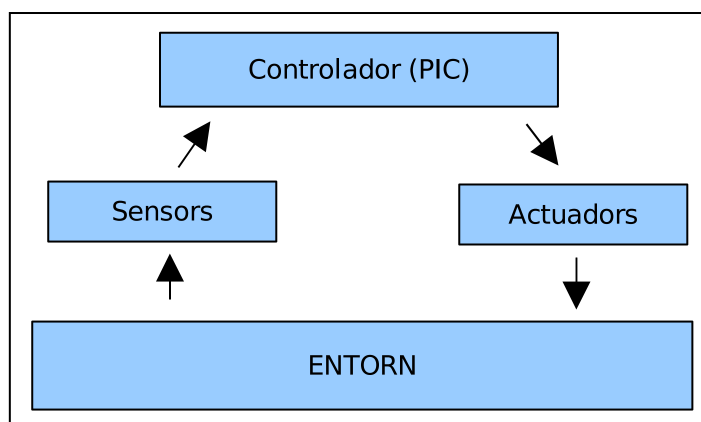


Figura 15: Sistemes de control

Sistemes amb llaç obert i sistemes amb llaç tancat.

Quan el controlador, en el nostre cas el PICAXE, examina les dades dels sensors i modifica el seu comportament en conseqüència, parlem d'un sistema en llaç tancat. Si, en canvi, la lectura d'aquests sensors no modifiquen el seu comportament, parlem de llaç obert.

Una rentadora o un forn microones, en els quals únicament llegim els sensors abans d'engegar el sistema (per determinar la durada o el tipus de programa a realitzar) i una vegada engegat el sistema funciona de forma lineal sense tenir en compte noves lectures dels sensors son exemples de sistemes amb llaç obert.

En canvi, un sistema de regulació de temperatura, o un robot que segueix una línia negra al terra són exemples de sistemes en llaç tancat, on contínuament la lectura dels sensors modifiquen el curs del programa.

Diagrames de blocs

Una primera aproximació al disseny del nostre sistema és el diagrama de blocs. En ell identifiquem les entrades i sortides, la qual cosa ens permetrà estudiar la viabilitat del projecte i ens facilitarà la tasca de connectar els diferents components al nostre PICAXE.

Veiem un exemple senzill: una alarma de temperatura que encengui un LED de color verd si la temperatura està per sota de 35°C i un de color vermell si la supera. A més de fer sonar un brunzidor quan la temperatura estigui per sobre d'aquest valor.

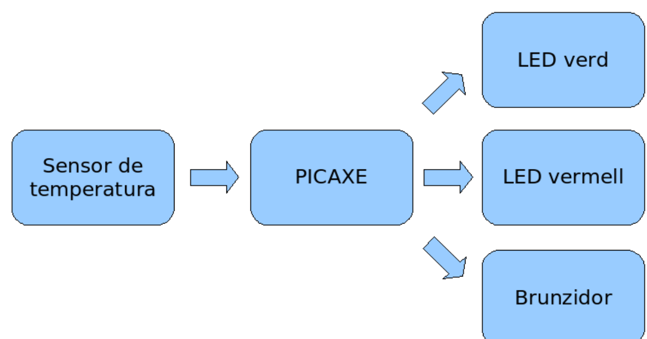


Figura 16: Diagrama de blocs

VII. Disseny electrònic

Una vegada identificades les entrades i sortides, passem al disseny del maquinari.

A l'exemple anterior, podem utilitzar el sensor de temperatura DS18B20 de Dallas semiconductor. A la pàgina 81 del document picaxe_manual2_es.pdf (disponible en castellà) trobarem la forma de connectar el sensor de temperatura DS18B20 al PICAXE-08M. El podem connectar a l'entrada pin4 d'aquest xip.

Els LEDs els podem connectar amb una resistència en sèrie per limitar la intensitat que hi circularà. Si treballem amb una tensió d'alimentació de 4,8 V, i suposant un gap d'uns 2 V per a aquests LEDs, amb unes resistències de 330 Ω la intensitat quedarà limitada per sota dels 10 mA. Podem connectar aquests LEDs a les sortides pin0 (verd) i pin1 (vermell).

El brunzidor piezoelèctric el connectarem directament entre la sortida pin2 i 0 V.

Esquemes.

A l'esquema concretem tot el que és el disseny del maquinari, amb una simbologia normalitzada. Podem fer l'esquema a mà, o utilitzar programes de CAD generals (DIA és un exemple GPL disponible per a Windows i GNU/Linux) o específics (EAGLE és un exemple gratuït disponible per a Windows i GNU/Linux).

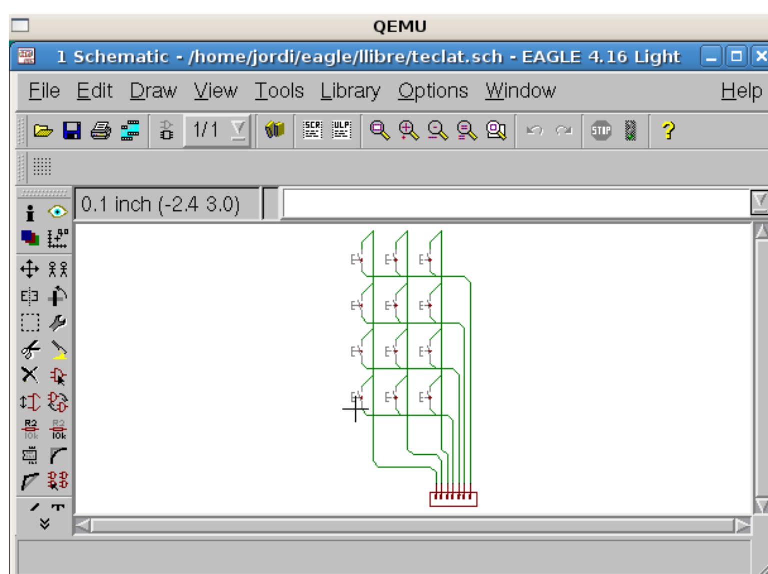


Figura 17: El programari de CAD Eagle

Layouts de PCBs.

Una vegada dissenyat el maquinari, caldrà dissenyar el circuit imprès (PCB). També el podem fer a mà. Podem dissenyar la nostra placa de circuit imprès amb paper quadriculat: cada quadrat serà 2,54mm. Dibuixem el contorn dels components. Farem creus als punts de soldadura i dibuixarem en color vermell les pistes (si tinguéssim ponts a la cara de components els faríem de color blau). Aquesta opció és molt útil i ràpida quan utilitzem plaques de prototips.

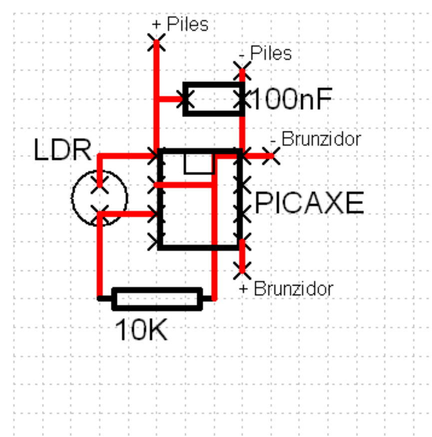


Figura 18: Disseny artesanal del PCB

Una altra opció és utilitzar programari com el LochMaster (de pagament, per a Windows), especialment útil si treballem amb plaques de prototips de tires de coure.

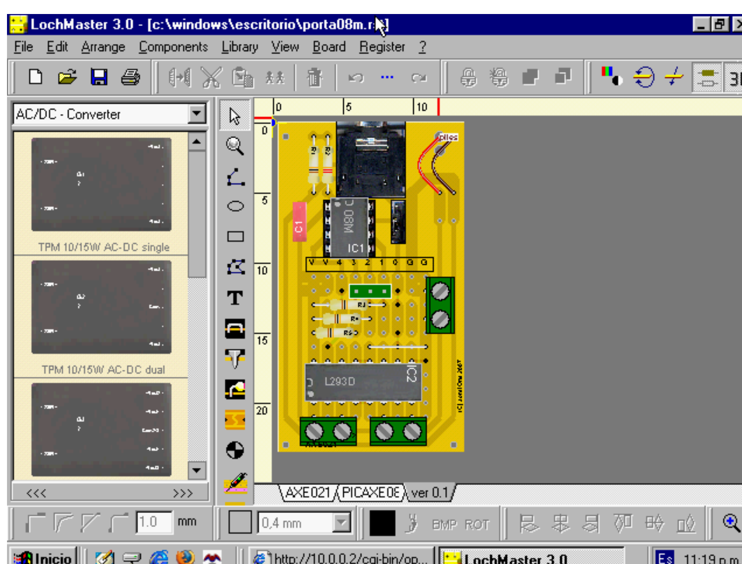


Figura 19: El programari de CAD LochMaster

Altres opcions més professionals són la utilització de programari específic, com el PCB (GPL disponible per a GNU/Linux) o el mateix EAGLE (gratuït disponible per a Windows i GNU/Linux).

VIII. Entrades

Polsadors i interruptors

Típicament els senyals digitals es tracten a partir d'una configuració de divisor de tensió. Quan el sensor està actiu baixa radicalment la seva resistència i canvia les proporcions del divisor, invertint l'estat de l'entrada.

A la figura veiem un polsador NO. Quan es troba en repòs el PIC, veu únicament la connexió a 0V i per tant llegeix el valor 0. Quan el polsador està actiu el PIC rep la tensió d'alimentació i per tant llegeix un 1.

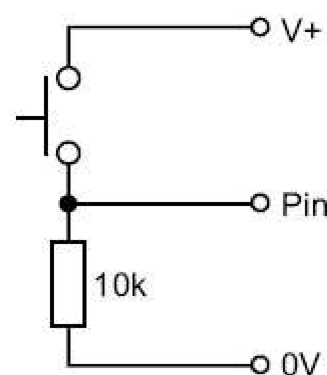


Figura 20: Connexió de polsadors amb pull-down

La resistència de 10 kΩ limita la intensitat i impedeix que es produeixi un curtcircuit quan el polsador està actiu, però permet la connexió a 0V quan el polsador està en repòs. És el que s'anomena en electrònica una resistència de pull-down (pull-up quan utilitzem la configuració contrària, el polsador connectat a 0V i la resistència a la tensió d'alimentació).

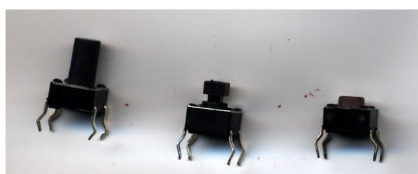


Figura 21: Micropolsadors per a circuit imprès

Moltes vegades utilitzarem micropolsadors per a circuit imprès. Típicament son polsadors NO que porten dues parelles de potes, connectades entre si, en forma de grapa.

El polsador pot ser escollit d'entre una gran varietat de models: detector final de cursa, accionat magnèticament (relé reed), sensor de proximitat, de gir (tilt) ...

De vegades caldrà connectar un condensador de 100nF en paral·lel amb el polsador per evitar rebots, per exemple quan volem comptar les vegades que un imant passa per davant del sensor Reed.

Detectors fi de cursa i sensors magnètics

Al cap i a la fi no deixen de ser polsadors amb diferents tipus d'accionament mecànic o magnètic. Per tant els connectarem de la mateixa forma que els polsadors anteriors.

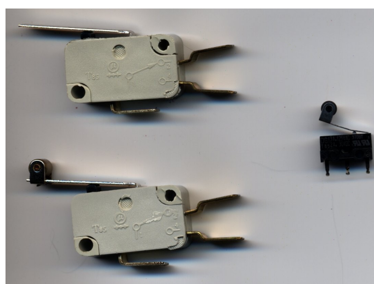


Figura 22: Sensors fi de cursa

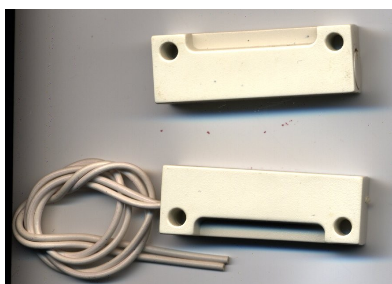


Figura 23: Sensor magnètic

Figura 24: Sensor Reed

Hem d'anar molt en compte amb els sensors magnètics Reed, ja que utilitzen un encapsulat de vidre molt fràgil.

Tensions

Les entrades ADC (conversors analògics a digital) permeten la mesura de tensions entre 0V i la tensió d'alimentació. La lectura és directament un valor digital (típicament de 8, 10 o 12 bits), que agafa el seu valor màxim (fons d'escala) quan l'entrada té un valor igual a la tensió d'alimentació.

Si la tensió d'alimentació és constant, es a dir, quan fer servir un regulador del tipus 7805, podem llegir valors absoluts de la tensió amb un sistema de proporcions (per exemple, amb 8 bits de resolució i una alimentació estabilitzada de 5 V tindrem una lectura de 255 per a una entrada de 5 V, el valor de la lectura V per a una entrada arbitraria b0 seria de

$$V = \frac{b0}{255} \cdot 5V$$

En el cas de sistemes alimentats a piles, on la tensió d'alimentació varia amb la carrega de la pila, hauríem d'utilitzar una entrada ADC per llegir un díode zener que ens serveixi de referència.

Sondes SADEX

La dotació estàndard de les aules taller de tecnologia dels IES de Catalunya inclou un equipament important en sistemes d'adquisició de dades experimentals (SADEX). Podem connectar les sondes d'aquests equipaments alimentant-les amb el visor autònom. Només ens caldrà un connector femella DB25. Connectaren la massa a la pota 8 i l'entrada ADC a la pota 24. La sonda dona un valor analògic en volts equivalent al valor mostrat al display del visor.

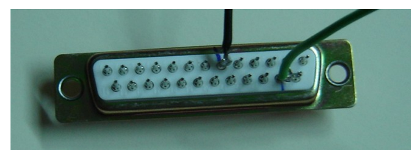


Figura 25: Connexió SADEX

Potenciòmetres

Un potenciòmetre que faci de divisor de tensió , pot ser emprat per llegir un valor de consigna (com pot ser el temps que ha d'estar encès un llum o un forn). Fins i tot, es pot simular un commutador/selector, assignant a diferents rangs de valor de lectura, diferents significats. O bé resistències en sèrie de diferents valors, seleccionats acuradament amb polsadors en paral·lel, i d'aquesta manera llegir més d'un polsador amb la mateixa entrada.

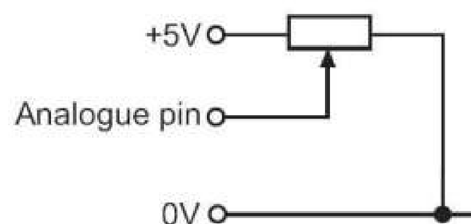


Figura 26: Connexió d'un potenciòmetre

Mesura de posicions i angles amb potenciòmetres

Podem utilitzar un potenciòmetre de desplaçament per mesurar la posició d'un objecte. Si l'objecte desplaça el potenciòmetre, la resistència i, per tant, el voltatge del cursor serà proporcional a la posició.

També podem utilitzar un potenciòmetre radial per mesurar l'angle d'un pla. Si l'objecte fa girar el cursor del potenciòmetre, la resistència i, per tant, el voltatge del cursor serà proporcional a l'angle. De vegades potser interessant eliminar el tope que tenen algun potenciòmetres, de forma que pugui donar la volta completa (per exemple en el cas d'una nòria, on hem d'aturar a diferents angles per carregar els passatgers).

LDRs, NTCs i altres resistències dependents de magnituds

Lectura digital

En lloc d'un polsador es pot connectar qualsevol resistència variable: LDR (disminueix amb la llum), NTC (disminueix amb la temperatura) ... Caldrà ajustar el valor de la resistència de pull-up perque el canvi de 0 a 1 es produeixi segons interessi en el circuit. També es pot optar per utilitzar una resistència ajustable (o la resistència entre el cursor d'un potenciòmetre i un dels seus extrems) per poder ajustar manualment el punt de canvi (anomenat llindar o valor de consigna).

Lectura analògica

Alguns d'aquests sensors, la seva resistència depèn de la magnitud a la que són sensibles, d'una forma no lineal, com és el cas de la LDR. Normalment aquests sensors es connecten en una configuració de divisor de tensió juntament amb una resistència. La complexitat de la relació entre la temperatura i l'entrada llegida pel convertidor analògic digital fa recomanable calibrar la sonda, és a dir, realitzar una taula de conversió entre els valors d'entrada obtinguts per a diferents valors de la temperatura, mesurades amb un instrument patró.

Figura 27: LDR

Figura 28: NTC

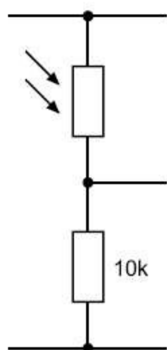


Figura 29: Connexió LDR

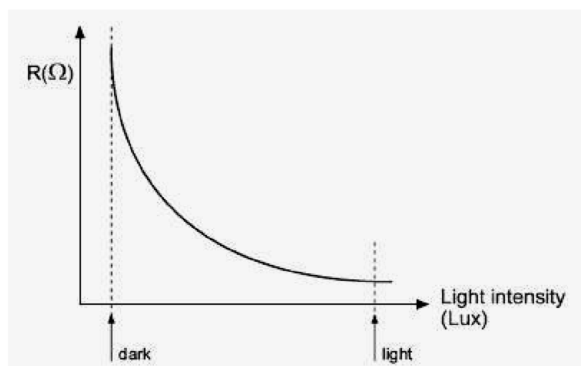


Figura 30: Resposta d'una LDR

Fotodíodes

Aquests semiconductors sensibles a la llum tenen l'avantatge sobre les LDR de que la seva resposta en intensitat és lineal, de forma que la seva calibració és molt més senzilla. Exemples de fotodíodes són el BPW34 i el BPW21. Es pot utilitzar un amplificador operacional per fer la funció de conversió intensitat / voltatge, voltatge que podrem mesurar amb els ADC del PIC.

Fototransistors

Els fototransistors també són sensibles a la llum, de forma que a les fosques es troben a la zona de tall i amb llum a la zona de saturació. Per tant són molt útils si els connectem a les entrades digitals del nostre PIC.

Mesura de posició amb LEDs i fototransistors IR

Si utilitzem un LED infraroig com a font de llum i detectem la llum emesa amb un fototransistor IR podem mesurar posicions de diferents formes:

- Posant encarats el LED i el fototransistor i al mig un disc amb escletxes radials que gira per fregament quan una peça es desplaça. Comptant els polsos que es generen podem conèixer el desplaçament realitzat. És el principi de funcionament dels ratolins de bola dels ordinadors

- Posant en paral·lel el LED i el fototransistor i en front una superfície que pot o no reflectir el llum, com pot ser fulla de paper amb marques amb cinta aïllant negre. És el principi de funcionament dels robots rastrejadors que segueixen línies marcades al terra.

La utilització de llum infraroja és per evitar interferències amb la il·luminació ambiental.

El sensor de temperatura DS18B20

Aquest xip de l'empresa Dallas Semiconductor utilitza un protocol d'un sol fil per comunicar-se amb els microcontroladors. Els nostres PICAXE inclouen en el seu interpret BASIC ordres que permeten la lectura directa d'aquests xips mitjançant qualsevol de les seves entrades digitals.

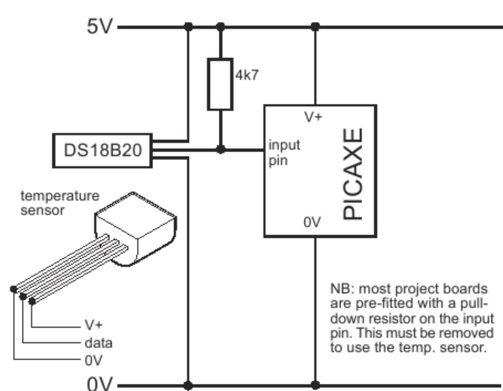


Figura 31: Connexió del DS18B20

Trobareu més informació sobre la seva connexió i utilització a les pàgines 81 i 82 del Manual de programació BASIC.

A continuació veiem un exemple de lectura d'un d'aquests xips que hem

connectat a l'entrada input4 del nostre PICAXE-08M i que envia el valor de la temperatura per la sortida sèrie de programació amb una resolució de 1 °C (podem millorar la resolució fins a 1/8 °C utilitzant l'ordre readtemp12, però això complica molt els programes ja que cal utilitzar més d'un byte per processar les dades) dintre del rang de -55 °C a 125 °C. Fixeu-vos que el primer bit indica el signe, es a dir, quan la temperatura és negativa la lectura porta un valor de 128 afegit.

```
'Lectura de temperatura amb el DS18B20

mesu:
	readtemp 4,b1
	if b1 > 127 then neg
	sertxd (#b1,13,10)
	goto mesu
neg:
	let b1 = b1 - 128
	sertxd ("-")
	sertxd (#b1,13,10)
	goto mesu
```

El sensor de codis infrarojos SIRC TSOP4838

Amb l'ordre infrain2 podem llegir codis de comandaments a distància infrarojos que utilitzin el protocol SIRC de SONY. D'aquesta manera podem controlar de forma remota els nostres dissenys. La comunicació es realitza mitjançant l'entrada digital input3 dels PICAXE més moderns. Amb models més antics (PICAXE-18X) cal utilitzar l'ordre infrain, que dona un valor del codi incrementat en 1 unitat, i limitat als primers 17 codis, mentre que la versió més moderna (PICAXE-08M, PICAXE-14M) detectar els valors entre 0 i 127.

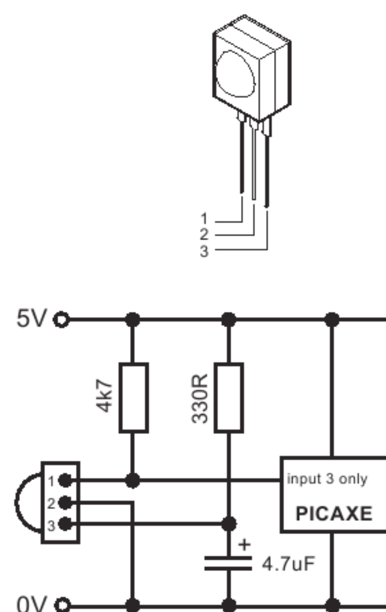


Figura 32: Connexió d'un sensor IR de codis SIRC

Trobareu més informació sobre la seva connexió i utilització a les pàgines 40 a 42 del Manual de programació BASIC.

A continuació veiem un exemple que permet encendre i apagar un LED connectat a la sortida output1 mitjançant un comandament remot de TV SONY. Podeu trobar un altre exemple a la pàgina 109, El kit de comandament infraroig AXE040, on s'utilitza l'ordre infrain a un robot basat en el PICAXE-18X.

```
'Control d'un llum amb un comandament a distància per infrarojos

main:
      low 1

espera:
      infrain2
      if infra =  1 then encen
      if infra =  2 then apaga
      goto espera

encen:
      high 1
      goto espera

apaga:
            low 1
            goto espera
```

Teclats

Típicament els teclats són conjunts de polsadors connectats amb una graella de fils. Les tècniques utilitzades per llegir el seu estat són nombroses, depenent de quines línies tenen en comú els polsadors, si es vol detectar l'activació simultània de dos tecles, del nombre d'entrades i sortides digitals de que disposem, de la possibilitat de convertir les entrades digitals en sortides i viceversa...

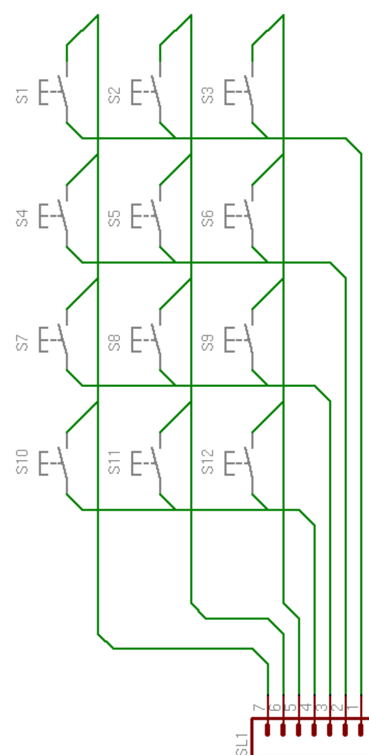


Figura 33: Estructura d'un teclat

Figura 34: Teclat numèric

Els nous PICAXE-08M i PICAXE-14M tenen unes quantes entrades ADC, que permeten una lectura senzilla d'aquest teclats amb unes poques entrades ADC. La idea és utilitzar un divisor de tensió amb resistències que ens donarà un voltatge diferent segons la tecla polsada. No és dels dissenys més optimitzats (no distingim quan es premen dues tecles de la mateixa columna, sacrifiquem tres entrades analògiques ...), però el seu senzill principi i l'economia en entrades utilitzades (amb tècniques clàssiques no podríem utilitzar un PICAXE-08M per a aquesta aplicació, necessitaríem més potes) aconsellen aquesta solució.

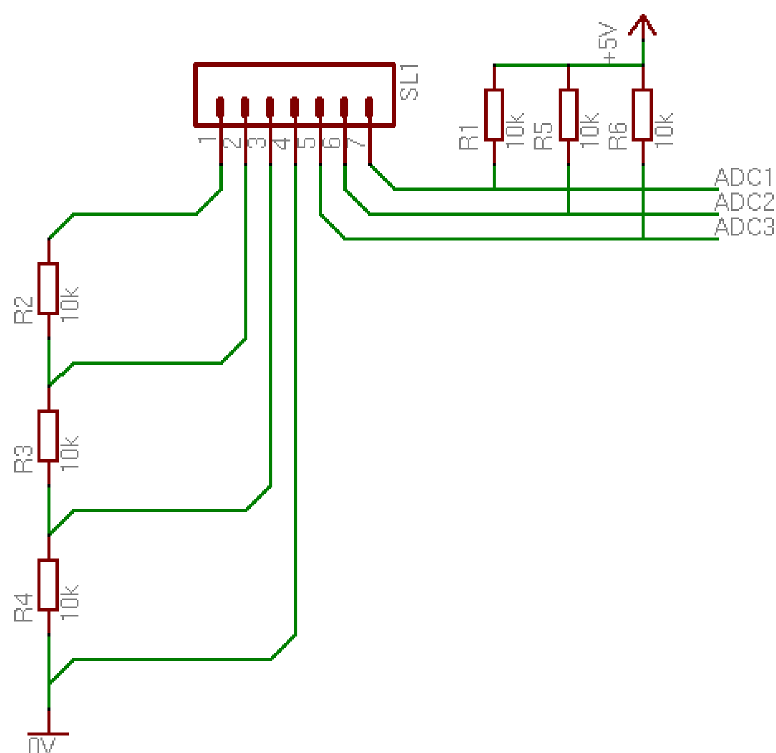


Figura 35: Connexionat d'un teclat

Si ens fixem en l'esquema del circuit proposat veurem que les entrades ADC1, ADC2 i ADC3 del nostre PICAXE veuen la tensió d'alimentació quan cap tecla està activa. Per tant llegiran un valor de 255 o molt proper amb l'ordre readadc.

Si la tecla pressa és de la segona fila, ara l'entrada ADC de la columna corresponent veurà una tensió de 2/3 de la tensió d'alimentació, que correspon a un valor digital aproximat de 170. Si es tracta de la tercera fila, el valor serà aproximadament 128 (½ de la tensió d'alimentació). Si, finalment, es tracta de un polsador de la darrera fila, el valor llegit serà 0 (connectat directament a massa).

Teclats de PC

Als PICAXE més potents (PICAXE-18X, PICAXE-28X, PICAXE-40X) disposem de dos entrades/sortides especials que ens permeten connectar directament teclats de PC (del tipus AT, amb connector miniDIN/PS2, els moderns teclats USB no serveixen).

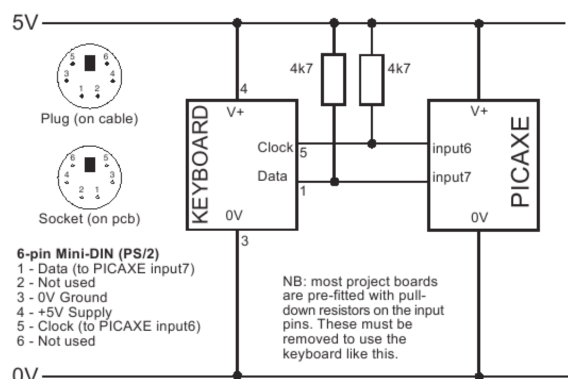


Figura 36: Connexió d'un teclat de PC

Trobareu més informació sobre la seva connexió i utilització a la documentació de les ordres keyin i keyled, pàgines 49 a 51 del Manual de programació BASIC.

Altres sensors

Constantment apareixen al mercat nous sensors que podem connectar al nostre PICAXE. Molt ampli es el ventall de possibilitats que s'obre utilitzant els protocols sèrie/RS-232 (suportat per tota la gama de PICAXE) o I2C (suportat per el PICAXE més potents, com ara el PICAXE-18X, PICAXE-28X o PICAXE-40X).

Alguns exemples de dispositius disponibles hores d'ara són:

- ☑ Posicionadors GPS, com ara el mòdul LS-41EB disponible a la web del mateix distribuïdor de PICAXE, que es connecten per interfície sèrie.

- ☑ Brúixoles, com ara els mòduls CMP03 o CMPS03 (més informació a http://www.robot-electronics.co.uk/shop/Compass_CMPS032004.htm), que es connectem per I2C.

- ☑ Sensors d'humitat, com ara el Honeywell HIH4000-001, que es connecta a una entrada ADC, disponible a la web del mateix distribuïdor de PICAXE.

☑ Sensors de pressió, com ara el MPX4115A de Motorola, que es connecta a una entrada ADC.

☑ Telèmetres per ultrasons, com ara el mòdul SRF005, disponible a la web del mateix distribuïdor de PICAXE. Podeu veure la utilització d'aquest mòdul a un robot basat en un PICAXE-18X a la pàgina 103, El sensor d'ultrasons SRF005, al capítol XXII.

IX. Sortides

Si el ventall de sensors que es poden connectar als PICs és molt ampli, el d'actuadors encara ho és més.

LEDs.

Per connectar un LED a una sortida només cal posar en sèrie una resistència per limitar la intensitat. Habitualment es posa una resistència de 330 Ω, que limitarà la intensitat a uns 10 mA, amb una tensió d'alimentació de 5 V (La caiguda de tensió típica en un LED és d'uns 1,6 V).

Un LED es pot connectar entre una pota de sortida del PIC i 0V (1 encès) o entre la tensió d'alimentació i la pota (0 encès).

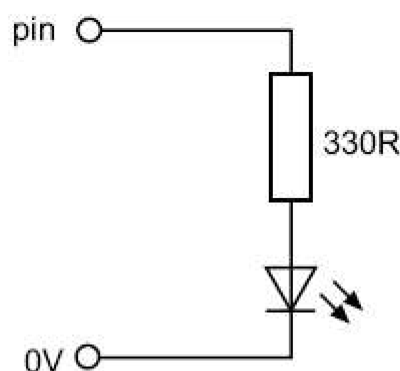


Figura 37: Connexió d'un LED

Brunzidors piezoelèctrics.

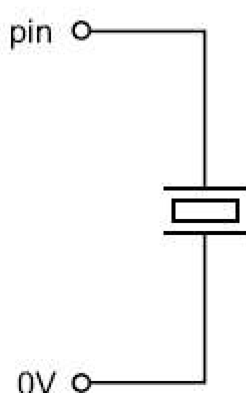


Figura 38: Connexió d'un brunzidor

Una possibilitat molt interessant del PIC és la generació de so. Una opció és connectar directament un brunzidor piezoelèctric a una sortida del PIC. Es preferible utilitzar la pota 2, ja que el PICAXE-08M permet generar melodies en aquest pota. Les melodies s'editen fàcilment i es desen en forma comprimida. Fins i tot, es poden importar amb un estàndard de telèfon mòbil.

Bombetes i altres càrregues amb I > 20mA. Ús de transistors. Els transistors Darlington .

Un terminal de sortida d’un PIC permet un consum limitat de l'ordre de pocs mA (Iomàx = 20 mA). Per a intensitats més grans caldrà utilitzar un transistor, com per exemple el BC337, BC548, BD139 o els Darlington BCX38B o BD681 .

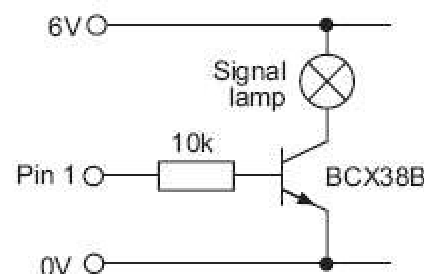


Figura 39: Connexió d'una bombeta

Els transistors Darlington funcionen com dos transistors en cadena, de forma que s'aconsegueixen factors d'amplificació (guany) molt alts, i estan dissenyats per treballar amb intensitats més altes, de l'ordre dels centenars de mA.

Cal tenir en compte que la resistència d'una bombeta canvia amb la temperatura. Com la variació tèrmica és molt important (de temperatura ambient quan fa temps que està apagada a incandescent quan està treballant, recordem que fem servir tungstè pel filament de les bombetes donat que resisteix els 3000 °C), en el moment d'encendre una bombeta la intensitat pot arribar a 20 vegades la intensitat estacionària. Per tant, cal treballar amb transistors que puguin aguantar aquests pics de corrent.

Relés i altres carregues inductives. Díodes de protecció contra extracorrents de ruptura.

Per controlar càrregues inductives (motors, electroimants, relés ...) caldrà afegir un díode (per exemple de la sèrie 1N400x) en antiparal·lel amb la bobina per limitar els pics de tensió que poden malmetre el transistor, pels corrents induïts per la llei de Lenz.

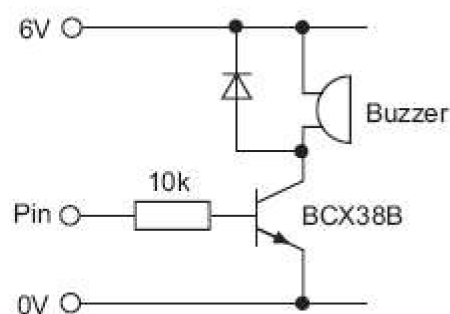


Figura 40: Connexió d'un brunzidor

Els relés son molt útils quan la intensitat de la càrrega és elevada o aquesta càrrega treballa a una tensió diferent de la que utilitzem amb els PICAXE. Cal recordar que el relé està basat en un electroimant, i que per tant produeix extracorrents de ruptura molt importants en la seva commutació. És imprescindible l'ús de díodes en antiparal·lel amb aquests dispositius.

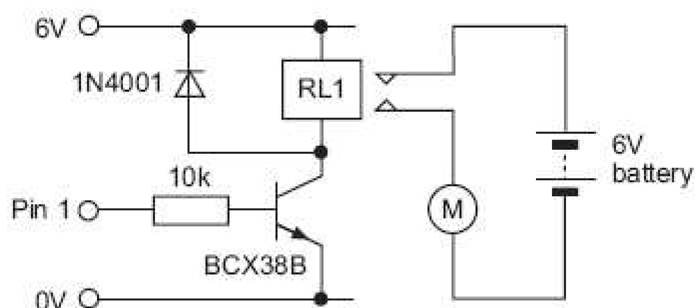


Figura 41: Connexió d'un relé

Motors. Ús de condensadors per evitar RFI.

En el cas de motors és recomanable connectar en paral·lel al motor, i molt a prop seu,un condensador de 100nF per reduir les interferències de radiofreqüència. Igualment, haurem de posar un díode en antiparal·lel donat el seu caràcter inductiu.

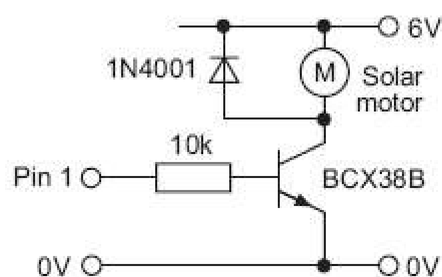


Figura 42: Connexió d'un motor

Motors amb inversió de gir. El circuit integrat L293D.

Sovint cal comandar el sentit de gir d'un motor de corrent continu. Amb el circuit integrat L293D resulta molt senzill. Permet comandar 2 motors. Per cada un fan falta 2 sortides del PIC: si les dues sortides tenen el mateix valor, el motor està aturat, si tenen diferent valor, el

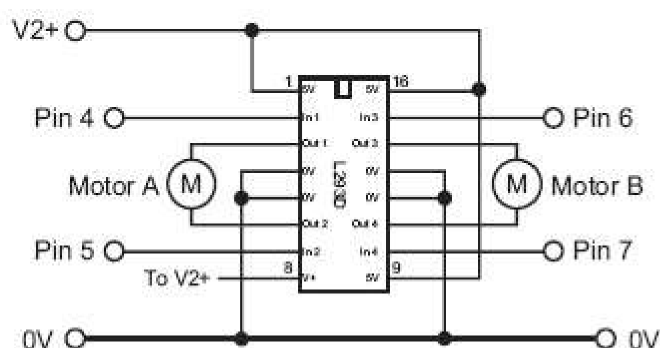


Figura 43: Connexió d'un L293D

motor està en marxa, la combinació 10 o 01 marcarà el sentit de gir. La pota 8 del L293D va connectada a la font d'alimentació dels motors, que pot ser la mateixa que la del PIC.

Veiem un programa d'exemple que fa un moviment alternatiu de 5s amb una pausa de 10s:

```
'Control bidireccional d'un motor

main:
        low 1           'atura el motor
        low 2
        wait 10         'pausa de 10s
        high 1          'gira en sentit horari
        wait 5          'espera 5s girant
        low 1           'atura
        wait 10         'pausa de 10s
        high 2          'gira en sentit antihorari
        wait 5          'espera 5s girant en sentit contrari
        goto main       'torna a començar el cicle
```

Modulació d'amplada de polsos (PWM)

Un dels problemes més típics en les sortides és que són digitals, es a dir, podem encendre-les o apagar-les, però és difícil regular la potència de sortida, ja que en encendre-les donarem 5V, no podem donar un valor arbitrari de tensió.

Un truc molt utilitzat per aconseguir un valor promig inferior és connectar i desconnectar contínuament la sortida. Si ho fem a un ritme molt ràpid, l'efecte serà una sortida amb un promig d'energia inferior. Això s'utilitza per controlar la intensitat de llum emesa o la velocitat d'un motor.

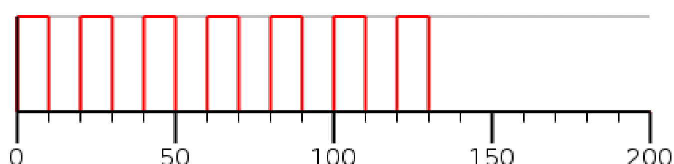


Figura 44: Modulació d'amplada de polsos

Veiem un exemple. Si jo encén un LED durant 10 ms i l'apago uns altres 10 ms i repeteixo

contínuament, els meus ulls no veuran que s'encén i s'apaga (la meva retina manté la imatge de l'ordre de 1/18 de segon, és el principi del cinema), sinó que veuran el LED encès contínuament, això sí, amb una intensitat inferior que si estigués connectat contínuament. De fet, com en aquest cas la meitat del temps el LED està apagat, la intensitat serà un 50% de la que veuria amb la sortida activa tot el temps. L'efecte s'accentua si posem un condensador en paral·lel.

Aquesta tècnica s'anomena modulació d'amplada de polsos (PWM).

Els PICAXE més moderns (PICAXE-08M ...) tenen ordres que realitzen aquesta modulació automàticament, com ara la sentència BASIC pwmout:

```
pwmout 2, 99, 200
```

generaria un pwm del 50% per la sortida out2 (pwm2) a una freqüència de 10 kHz.

Per ajustar els valors dels paràmetres podem utilitzar el pwmout Wizard de l'editor de programació BASIC (*PICAXE -> Wizards -> pwmout*).

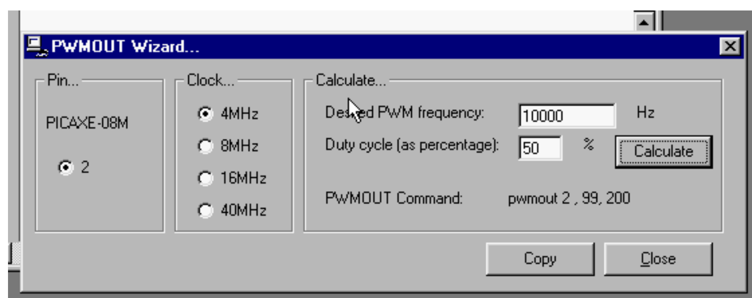


Figura 45: pwmout Wizard

La sortida es mantindrà amb aquesta modulació fins que enviem una modulació de potència 0:

```
pwmout 2, 0, 0
```

Amb PICAXE més antics, caldrà fer manualment aquests canvis continus encès/apagat, amb la qual cosa el nostra xip estarà ocupat i no podrà dedicar-se a altres tasques. Podeu veure un exemple a la pàgina 113, Tendal controlat per llum, al capítol XXIV, on s'utilitza un PICAXE-18X.

Motors pas a pas. El circuit integrat ULN2003.

També es poden controlar motors pas a pas amb el circuit integrat ULN2003, que simplifica la connexió i permet el comandament amb únicament dos sortides. Aquest xip porta 7 transistors Darlington integrats de forma que quan activem l'entrada corresponent el transistor tanca el circuit connectant la sortida a massa (també podem utilitzar el ULN2803A que en porta 8).

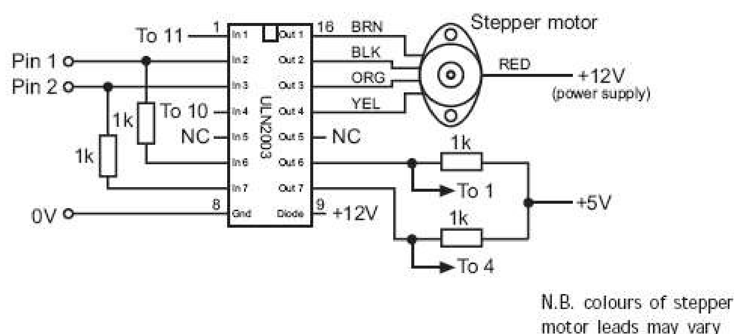


Figura 46: Connexió del ULN2003

Trobareu més informació sobre el control de motors pas a pas al manual 3 de PICAXE, Interfacing circuits (disponible només en llengua anglesa).

```
'Control d'un motor pas a pas unipolar

pas:  toggle 1     'inverteix pin 1
      pause 200    'espera  200 ms
      toggle 2     'inverteix pin 2
      pause 200    'espera 200ms
      goto pas     'tornar a començar el cicle
```

Servos de radiocontrol

Els PICAXE tenen una ordre especialment dedicada al control de servos, la sentència BASIC servo.

Trobareu més informació sobre la seva connexió i utilització a la documentació de l' ordre servo, pàgina 94 del Manual de programació BASIC, i al manual 3 de PICAXE, Interfacing circuits (disponible només en llengua anglesa).

Cèl·lules Peltier i altres càrregues amb I > 1A. El transistor MOSFET IRF530.

Per a intensitats encara més importants (de l'ordre dels amperes) podem utilitzar un transistor MOS-FET, com ara el IRF530. Aquesta opció és molt interessant per comandar resistències calefactores, cèl·lules Peltier (que actuen com a bombes de calor, per refredar i escalfar) o altres dispositius amb intensitats elevades, com ara motors amb un gran parell d'engegada.

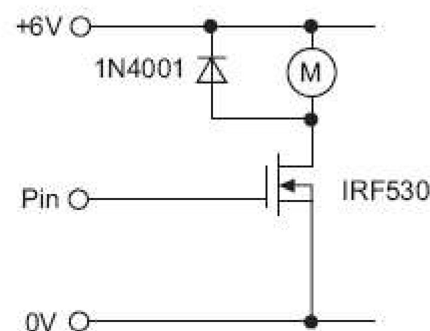


Figura 47: Connexió del IRF531

Cal tenir en compte que si directament controlem el MOS-FET amb una sortida del PICAXE, normalment només aconseguirem una intensitat màxima de 1A, ja que aquest dispositius necessiten tensions molt més elevades (de l'ordre del 12V) per obrir completament el canal i deixar passar els 4A o més que poden suportar. Per això és interessant utilitzar la sortida del PICAXE per a saturar un transistor que donarà els 12V a la porta del MOS-FET.

Altaveus i altres càrregues amb baixa reactància.

També es poden connectar altaveus i brunzidors, amb les modificacions oportunes. Típicament aquesta modificació consisteix en posar en sèrie amb la carrega inductiva un condensador, que actuarà com a filtre passa-alts. Pensem que el fil de coure de la bobina d'un altaveu té molt poca impedància reactiva (reactància). El que ens interessa és que la veu, les ones, es a dir, la component alterna, activi l'altaveu. El condensador deixarà passar aquesta component alterna i, en canvi, no la component contínua, que només ens escalfaria l'altaveu (efecte Joule).

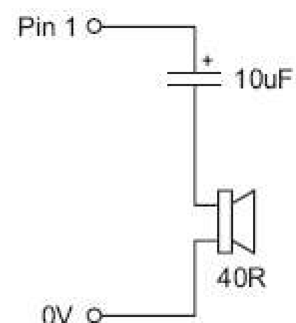


Figura 48: Connexió d'un altaveu

Altres actuadors

Podeu trobar molta més informació sobre la connexió de diferents sensors i actuadors al document AXE003 Electronic Interfacing Circuits a la web de PICAXE, http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual3.pdf (disponible només en llengua anglesa). També és molt recomanable el el Manual de programació BASIC (traduït al castellà a les darreres versions de l'editor de programació), on trobareu esquemes de connexió de components concrets suportats per l'interpret BASIC.

X. L'entorn de programació

Una de les principals avantatges dels PICAXE és l'entorn de programació gratuït Programming Editor. Actualment funciona en les diferents versions de Windows (Windows 98 ..., Windows XP i Windows Vista), fins i tot emulat des de GNU/Linux amb el qemu. El fabricant treballa ara en una versió per a GNU/Linux (de fet, la darrera versió, la 5.x, ha estat refeta en GCC per permetre aquesta migració).

Aquest editor permet treballar en diagrames de flux, BASIC i esquemes de portes lògiques. Es pot canviar el llenguatge de la interfície, i el castellà es una de les opcions actuals.

Descàrrega de la web del fabricant

Caldrà registrar-nos amb un e-mail a la web del fabricant. Recomanem descarregar-lo des de la versió anglesa de la web, a la pestanya *Software*, ja que ofereix les versions més actualitzades, i actualitzar sempre a la darrera versió, que elimina errors i ofereix suport per nous xips i noves prestacions, especialment en la vessant de simulació.

Instal·lació

Una vegada descarregat l'arxiu instal·lador, l'executem. Ens crearà una icona d'accés al programa, des del qual tindrem accés a la documentació principal en format PDF, inclosa a l'instal·lador.

Configuració

Una vegada instal·lat, hauríem de canviar l'idioma a castellà, així com seleccionar el port sèrie on tenim connectat el cable de programació. També és interessant activar el ressaltat en colors de l'editor BASIC, així com la versió millorada (*Enhanced*) del compilador. Ho trobarem tot al menú *Ver -> Opciones*.

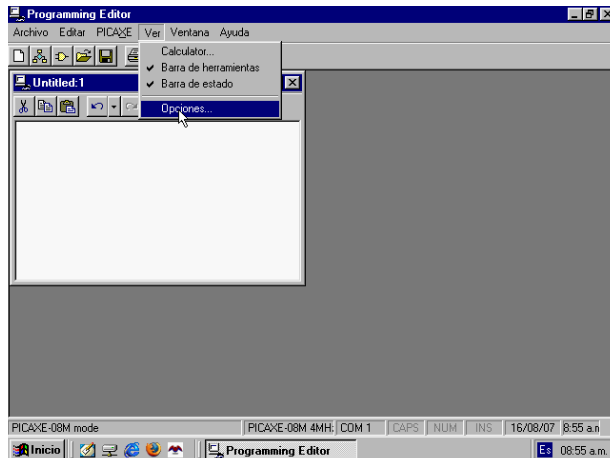


Figura 49: Configuració del programari

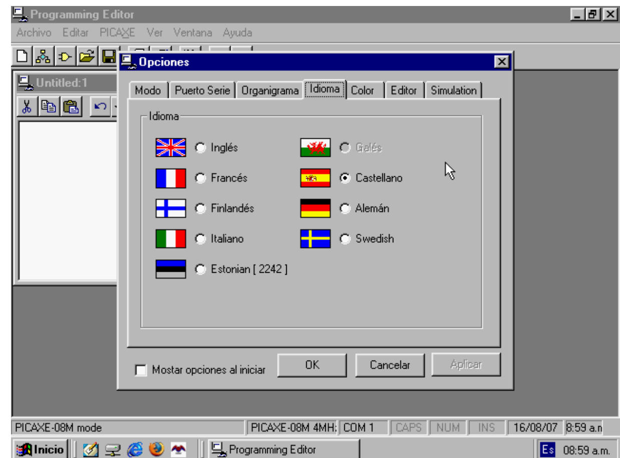


Figura 50: Configuració de l'idioma

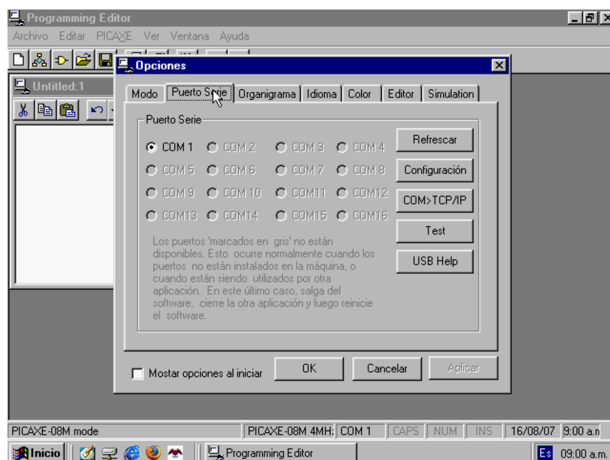


Figura 51: Configuració del port sèrie

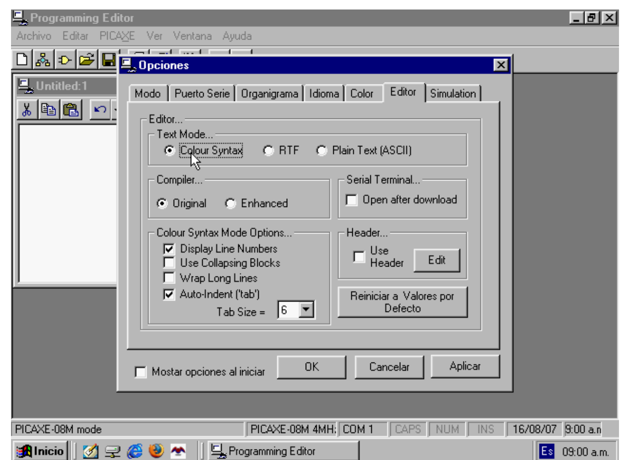


Figura 52: Configuració de l'editor

Drivers per al cable de programació USB AXE027

Si utilitzem el cable USB, caldrà instal·lar prèviament els drivers, disponibles a la pestanya *Software* de la web del fabricant, i fixar-nos quin port sèrie ens han

creat, ja que en realitat aquest cable porta al seu connector un circuit integrat que fa la conversió USB/RS-232C.

El cable de programació RS232-C AXE026

Molt més econòmic, aquest cable només porta un connector jack estèreo mascle i un DB9. Ens ho podem fer nosaltres mateixos:

jack	DB9
1	2
2	3
3	5

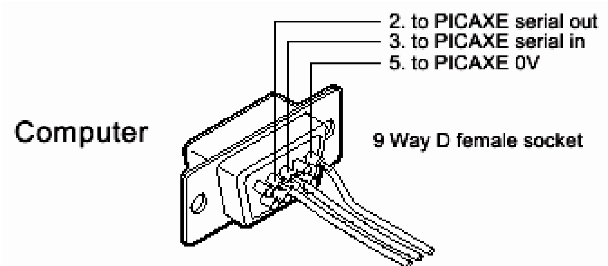


Figura 54: Connexió al PC

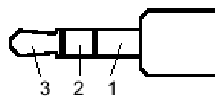


Figura 53: Connexions del jack

Els registres

Sigui quin sigui el nostre llenguatge de programació (diagrames de flux o BASIC), necessitarem unes variables on emmagatzemar valors, treballar amb comptadors ... La seva mida potser d'un byte (b0, b1 ...) que permeten treballar amb números de 0 a 255 o emmagatzemar un codi ASCII. Aquests bytes es poden agrupar en words (w0, w1 ...) que en realitat són les parelles de bytes b1:b0, b3:b2 ... i que permeten emmagatzemar números del 0 al 65535. Cal recordar que w0 és en realitat la parella b1:b0, de forma que si modifiquem w0 estem modificant a la vegada b1 i b0. Depenent del PICAXE utilitzat tindrem més o menys registres. També podem accedir als bits individuals de b0 i b1, així com als de les entrades i sortides (registre pins): bit7, bit6 ... bit0, bit15, bit14 ... bit8, pin4, pin3 ... pin0.

XI. Programació amb diagrames de flux

Un dels avantatges d'aquests PICs és la possibilitat de programar-los directament amb un diagrama de flux. L'editor de programació ens permet treballar d'una forma molt còmode i ràpida. Només cal clicar a la segona icona de la barra d'eines per a treballar en un nou diagrama.

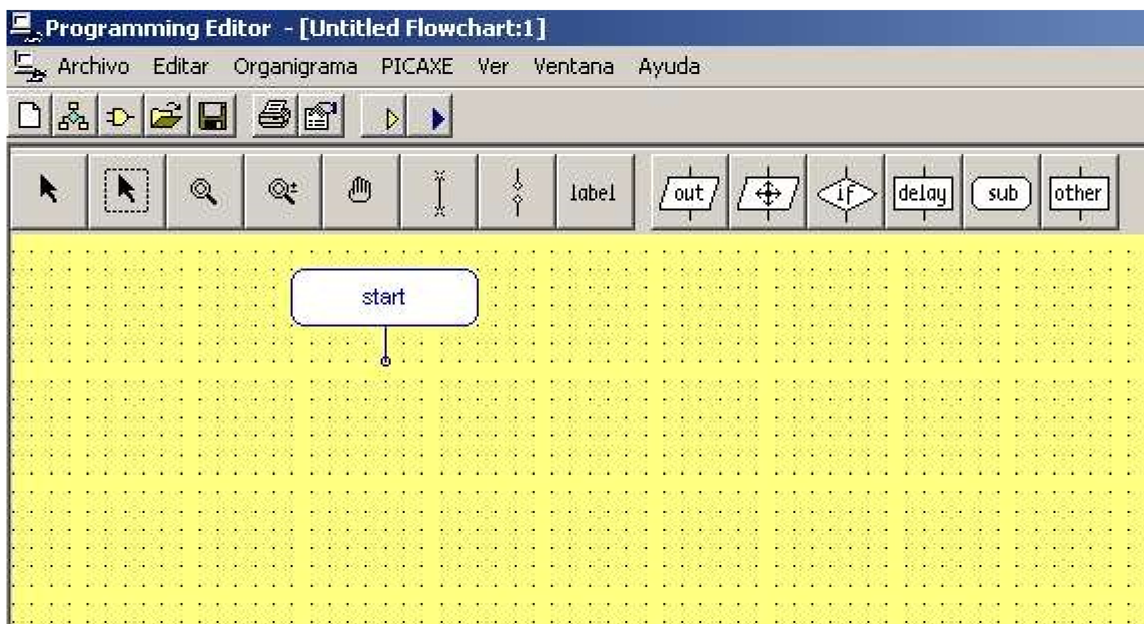


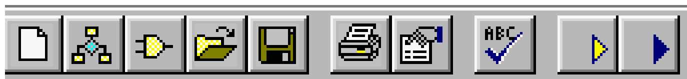
Figura 55: L'editor de diagrames de flux

Molt important! Quan seleccionem un mode de treball (BASIC, diagrama de flux, portes lògiques) només podrem obrir arxius d'aquest tipus. Es a dir, si volem carregar un diagrama de flux ja fet primer hem de clicar la segona icona per treballar amb diagrames de flux, i després clicar a la quarta icona per a obrir l'arxiu.

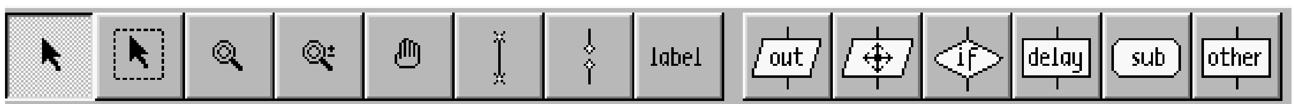
També és molt important quan comencem seleccionar el tipus de PICAXE amb que treballem a *Ver->Opciones*. Segons el model tindrem unes opcions i comandes habilitades o no.

L'editor

Trobarem a l'editor dues barres d'eines. La primera, com ja hem dit, permet seleccionar el mode de treball (BASIC, diagrama de flux, portes lògiques) així com les operacions típiques d'arxiu (obrir, desar, imprimir ...). Finalment dues fletxes ens permeten simular el programa (fletxa groga) o bé carregar-lo al PICAXE (fletxa blava).



La segona barra d'eines és pròpia del mode de treball que utilitzem. En el nostre cas ens permet seleccionar objectes, fer zoom (amb una interfície poc intuïtiva, desplaçant el ratolí canviarem el factor de zoom), moure el diagrama. A continuació tres icones molt importants: unir símbols amb fletxes, posar connectors per continuar diagrames en una altra columna i posar etiquetes per comentar el diagrama. Finalment el accés als diferents blocs de símbols: sortides, moviment, decisions en funció de l'estat de les entrades o del valor dels registres, esperes, subrutines i altres símbols. Quan accedim a un d'aquest blocs una fletxa al final ens permet tomar a aquest menú principal.



Molt interessant és l'opció *Archivo -> Exportar organigrama como figura*, que ens permet generar un arxiu gràfic amb el nostre diagrama de flux i utilitzar-lo per a documentar guions de pràctiques i memòries.

Els símbols de flux

Aquests diagrames, com el seu nom indica, especifiquen el flux del programa, les tasques que es realitzen, segons les decisions que pren el programa. Això ho fem amb símbols com els següents:

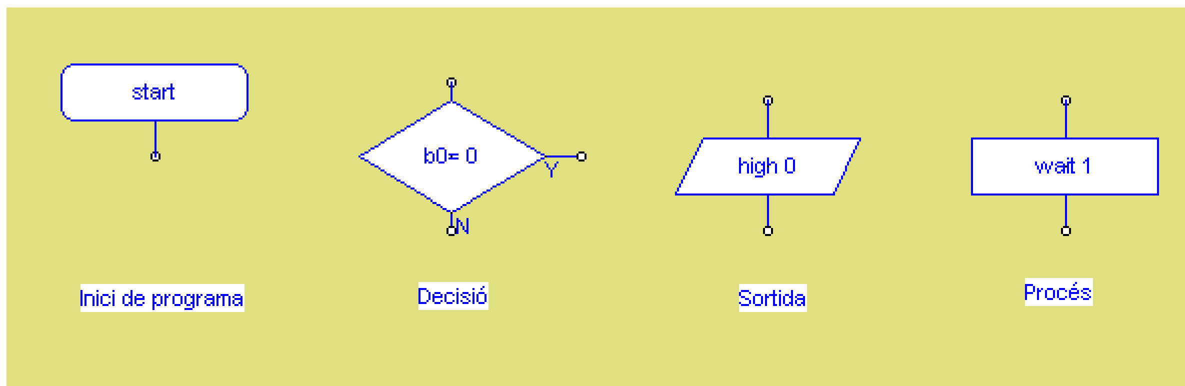
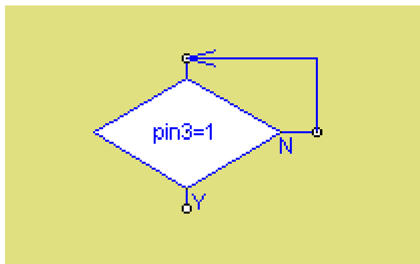


Figura 56: Principals símbols dels diagrames de flux

Inici de programa:	indica on comença el programa quan encenem el PIC
Decisió:	en funció d'una comparació decideix per on anirà el flux en cas que es compleixi (sortida Y) o en cas contrari (sortida N)
Sortida:	modifica l'estat de les sortides del PIC (high el posa a 1, low a 0).
Procés:	càlculs entre les variables, fer conversions ADC, temps de retard ...

En aquest xips les decisions permeten llegir les entrades. Per exemple a la figura veiem un bucle que espera que l'entrada al pin3 sigui 1.



Edició del programa

Una vegada seleccionat el símbol a inserir, cliquem amb el botó esquerra del ratolí per ubicar-lo. Podem seguir col·locant altre vegada el mateix símbol, o clicar amb el botó dret del ratolí per seleccionar un símbol ja inserit i modificar els seus paràmetres, que veurem a la part inferior de la finestra. Només podrem seleccionar els paràmetres vàlids per al PICAXE actiu.

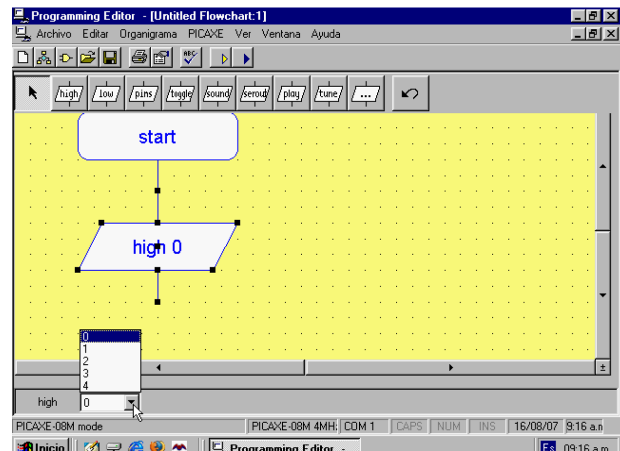


Figura 57: Selecció del pin

Quan seleccionem un paràmetre de tipus byte, els registres b0, b1 ... els trobarem al final de la llista desplegable després dels números 0, 1, 2 ... 255. Podeu accedir ràpidament a aquests registres prement la tecla b al desplegable.

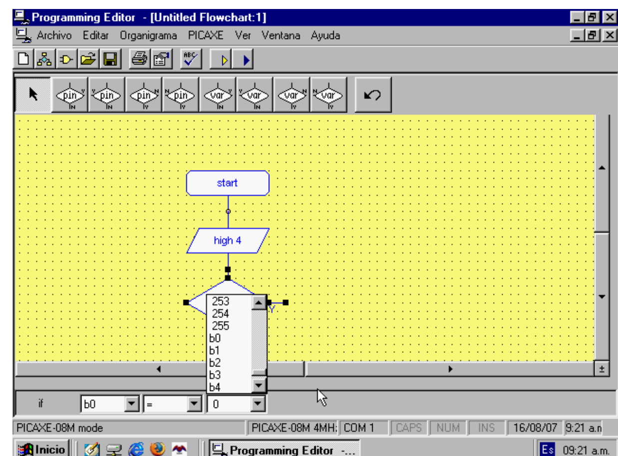


Figura 58: Selecció d'un registre

Simulació del programa

La fletxa groga a la primera barra d'eines engega la simulació del programa. Veurem en diferent color el pas pels diferents símbols del programa, i una finestra ens permetrà modificar les entrades i monitoritzar els registres.

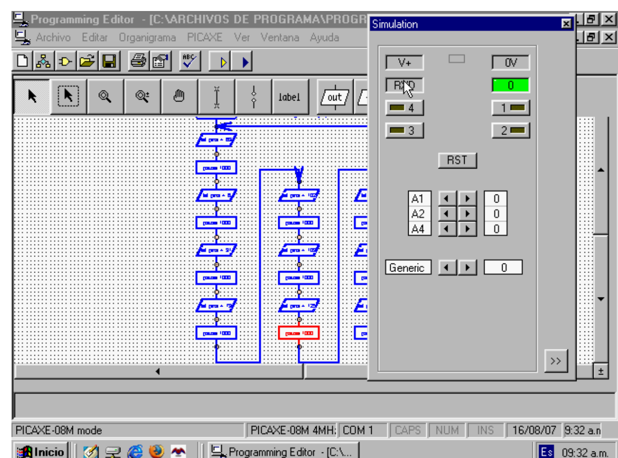


Figura 59: Simulació de l'organigrama

Plaques virtuals

Si abans d'engegar la simulació activem qualsevol de les plaques virtuals existents a *Simulate ->Simulation Panels -> Product Sims* podrem verificar el funcionament del nostre diagrama amb la placa seleccionada.

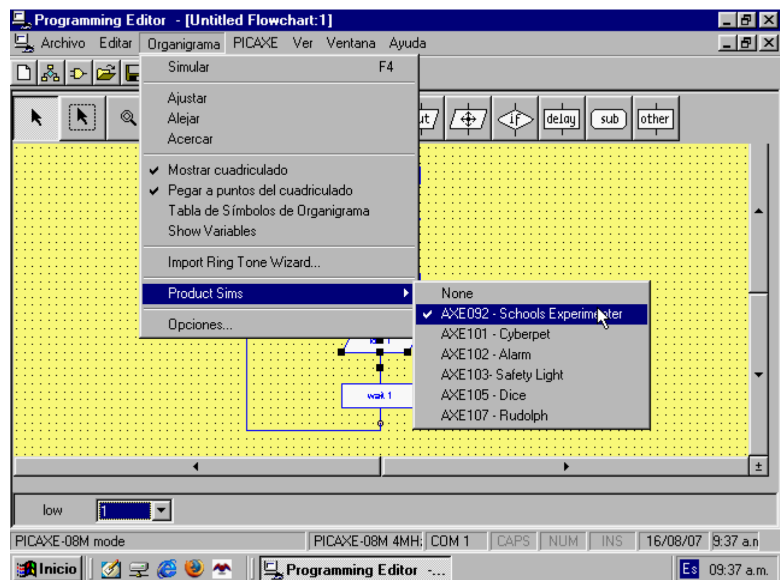


Figura 60: Selecció de la placa virtual

Disposem de virtualització de la placa experimental AXE092, així com de les diferents plaques de projectes econòmiques (mascota electrònica, alarma, dau ...). Tenint en compte que el programari és gratuït, això ens permet que els nostres alumnes puguin treballar a casa millorant els seus programes, sense cap cost per al nostre centre.

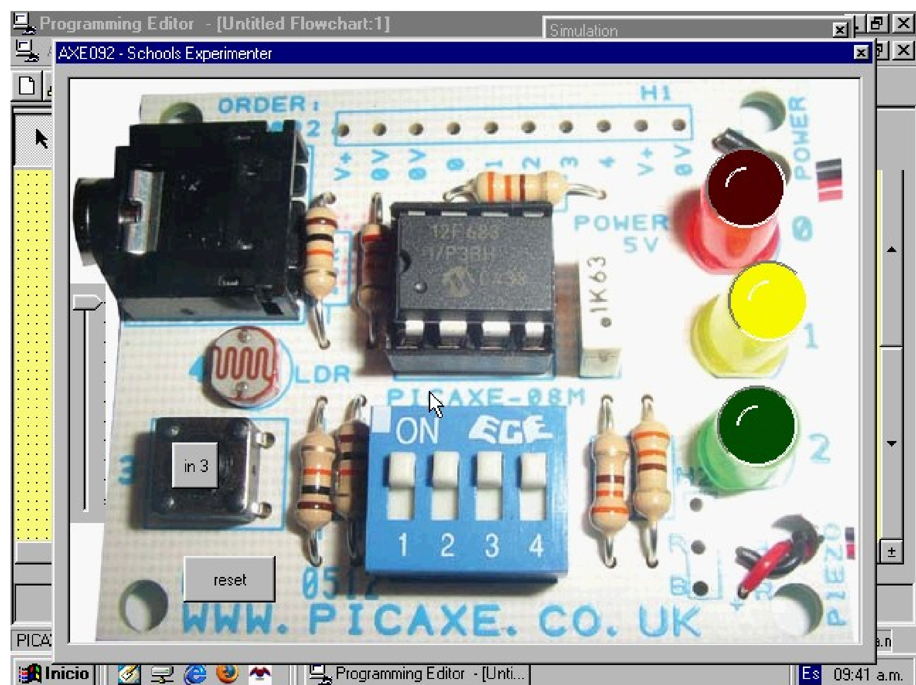


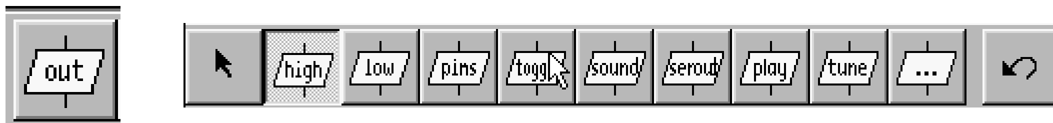
Figura 61: Simulació amb la placa virtual AXE092

Conversió a BASIC

Podem convertir a llenguatge BASIC el nostre diagrama de flux amb *PICAXE -> Convertir organigrama a BASIC*. Aquest és un bon exercici pels alumnes per facilitar la seva migració des de la programació en diagrames de flux, molt intuïtiva però no tant potent com la programació en llenguatge BASIC.

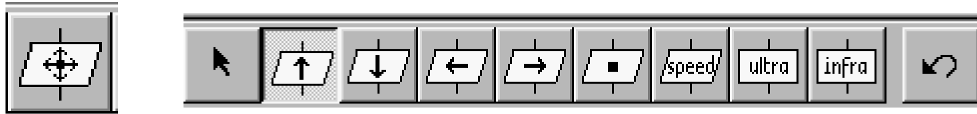
Conjunt d'instruccions

Veiem uns exemples dels símbols disponibles



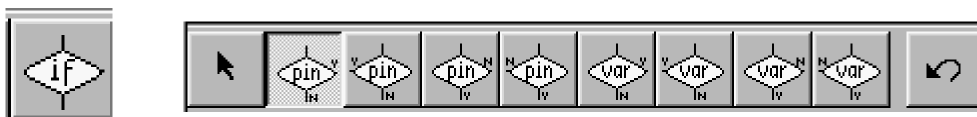
high 2	posa a nivell lògic 1 (es a dir, aplica la tensió d'alimentació) a la sortida pin2
low 2	posa a nivell lògic 0 (es a dir, connecta a 0 V) a la sortida pin2
let pins = 18	configura les sortides p4 i p1 a nivell 1 i la resta a 0, utilitzant els bits que representen a cada sortida (16 + 2 = 18)
sound 7, (160,50)	genera per la sortida 7 un soroll blanc (valors 128 a 255) durant un temps de 50
sound 2, (49,100)	genera per la sortida 2 un soroll semblant a la nota LA (49) durant un temps 100. L'equivalència entre els valors 1-127 i les notes musicals és, aproximadament: LA(49), LA#(51), SI(54), DO(57), DO#(61), RE(65), RE#(71), MI(78), FA(88), FA#(101), SOL(119)
serout 4, T2400, (#b1)	Envia per la sortida 4 a 2400 bauds sense invertir (T2400) el valor del registre b1 en ASCII (#b1)
play 1,0	Fa sonar la melodia 1 (incorporada a la ROM pel fabricant) sense acompanyar-la amb llums (0).
tune ...	Música amb les notes que van a continuació. Veure a la pàgina 75, l'exemple de la Capsa de música, al capítol XX, on es mostra un exemple amb la banda sonora de la sèrie Doraemon.

A cada menú trobarem a l'inici la icona d'una fletxa per seleccionar un símbol i modificar els seus paràmetres, i al final una altra fletxa circular per tornar al menú principal. També trobarem un símbol amb punts suspensius amb el que podem inserir qualsevol ordre BASIC.

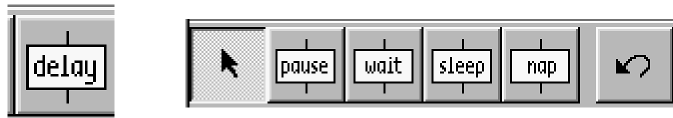


forward	Marxar endavant
back	Marxar enrere
left	Girar a l'esquerra
right	Girar a la dreta
halt	Atura la marxa
speed 128, 128	Fixar la velocitat (esquerra, dret). Posant valors diferents podem compensar diferències mecàniques dels motors, o generar girs suaus.
ultra b0	Desar a b0 la distància en cm al següent obstacle
infra b0	Esperar un codi de comandament d'infrarojos i desar-lo al registre b0.

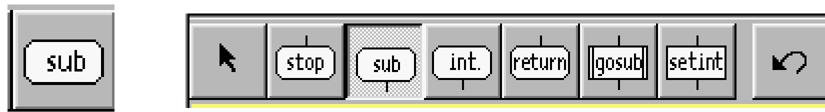
Aquests símbols faciliten la programació del microrobot.



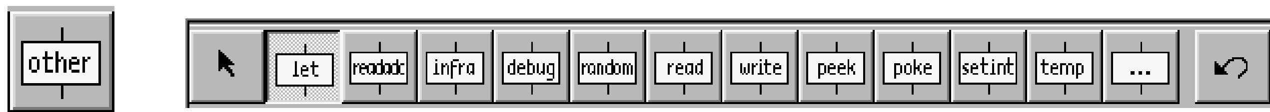
if pin3 = 0	Continua per la via Y si el pin3 és igual a 0 (detecta 0V), per la via N en cas contrari.
if b1 > 34	Continua per la via Y si el registre b1 és més gran que 34 detecta 0V, per la via N en cas contrari.
if b1 <> b0	Continua per la via Y si el registre b1 és diferent del registre b0, per la via N en cas contrari.



pause 500	Espera 500 ms
wait 2	Espera 2 s
sleep 20	Desconnecta 20 s. Es redueix molt el consum en l'espera.



stop	Atura el programa.
sub	Defineix una subrutina.
int	Defineix la subrutina d'interrupcions.
return	Torna d la subrutina.
gosub	Executa la subrutina.
setint	Defineix les condicions d'interrupció.



let	Assigna un valor a un registre.
readadc 1, b0	Llegeix l'entrada analògica del pin1 i desa el resultat com a un byte a b0 (0 → 0V, 255 → V_{cc})
infra	Llegeix codis de comandaments d'infrarojos.
debug	Envia els regsitres pel canal sèrie de programació al PC.
random w0	Genera un word (2 bytes) aleatoris
read	Llegeix de la memòria FLASH.
write	Escriu a la memòria FLASH.
peek	Llegeix de la memòria RAM.
poke	Escriu a la memòria RAM.
readtemp 1, b0	Llegeix la temperatura d'un xip DS18B20 connectat al pin1 i desa el valor al registre b0.

XII. Exemples de programació

Sempre he dit que la programació és un art, com els escacs. Per molt que a una persona li expliquis les normes dels escacs, no aprendrà a jugar fins que no vegi les estratègies, es a dir, partides d'altres jugadors, especialment de grans mestres. De la mateixa manera, una persona aprèn a programar veient programes d'altres programadors, com més optimitzats (i comentats), millor.

Exemple 1: Control d'un forn microones

Considerem un microones de joguina controlat per un PICAXE-08M amb les següents connexions:

- Una entrada digital (posada en marxa) a la pota 3
- Una entrada analògica (temporitzador) a la pota 1
- Una sortida digital (llum de funcionament) a la pota 4
- Una sortida d'àudio (avisador acústic fi) a la pota 2

Inicialment apaguem el forn (low 4, és a dir la tensió d'aquesta sortida es força a O V) i esperem que el posin en marxa (bucle d'espera per pin3=1). Quan s'activa el polsador connectat al pin3 llegim el temps de cocció i el

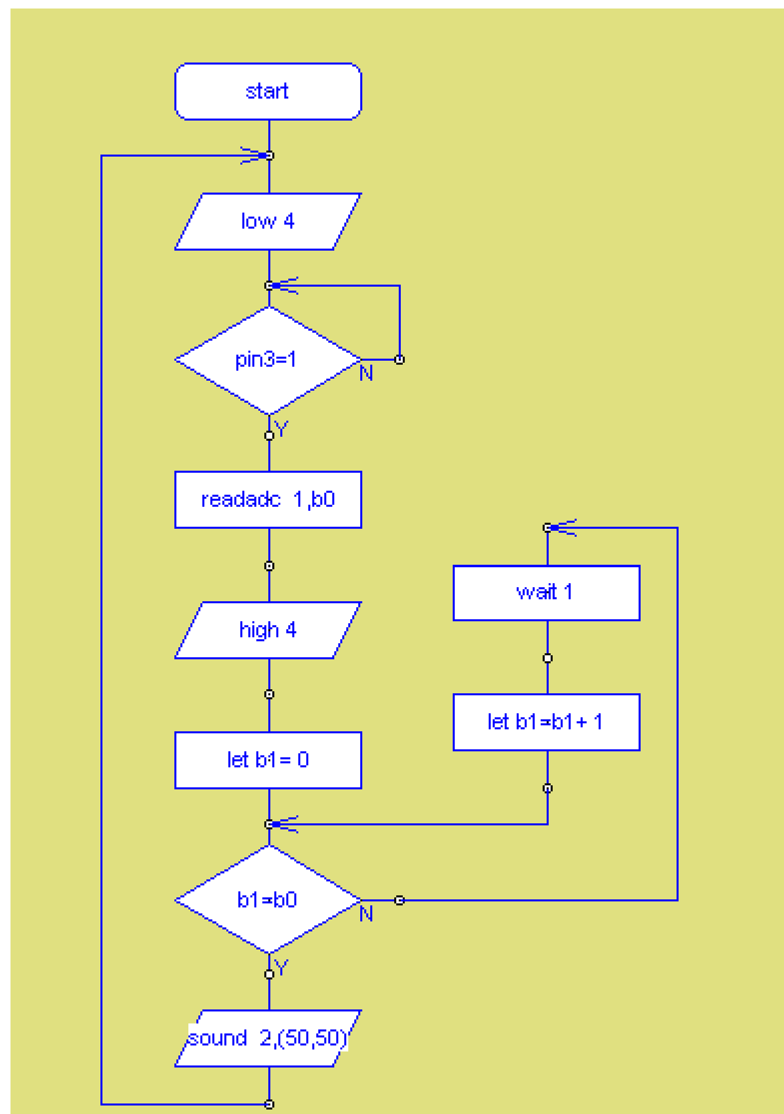


Figura 62: Organigrama microones de joguina

desem a b0. Aquest temps dependrà de la posició del potenciòmetre connectat al pin1 i que actua com a divisor de tensió. Encenem el forn (high 4, és a dir, aquesta sortida es força a l’estat alt, a 5 V) i contem amb el comptador b1 fins coincidir amb el temps emmagatzemat a b0, esperant 1s (wait 1) en cada increment. En acabar el compte activem el brunzidor piezoelèctric (sound 2, (50,50)) i tornem al principi, amb la qual cosa s'apaga el forn.

El mateix editor ens pot convertir el diagrama de flux en codi BASIC:

```
' Forn microones

main:
label_6:     low 4
label_44:    if pin3=1 then label_D
             goto label_44

label_D:     readadc  1,b0
             high 4
             let b1= 0
label_37:    if b1=b0 then label_29
             wait 1
             let b1=b1+ 1
             goto label_37

label_29:    sound  2,(50,50)
             goto label_6
```

Exemple 2: Dau electrònic

Considerem un dau electrònic controlat per un PICAXE-08M. Els diferents LEDs estan connectats segons la figura (sortides 0, 1, 2 i 4). A l'entrada 3 tenim quatre polsadors en paral·lel, qualsevol dels quals genera un nou número aleatori.

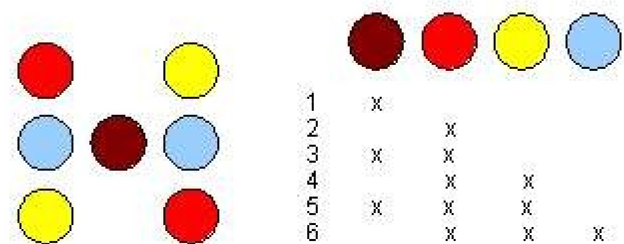


Figura 63: Assignació LEDs del dau a les sortides

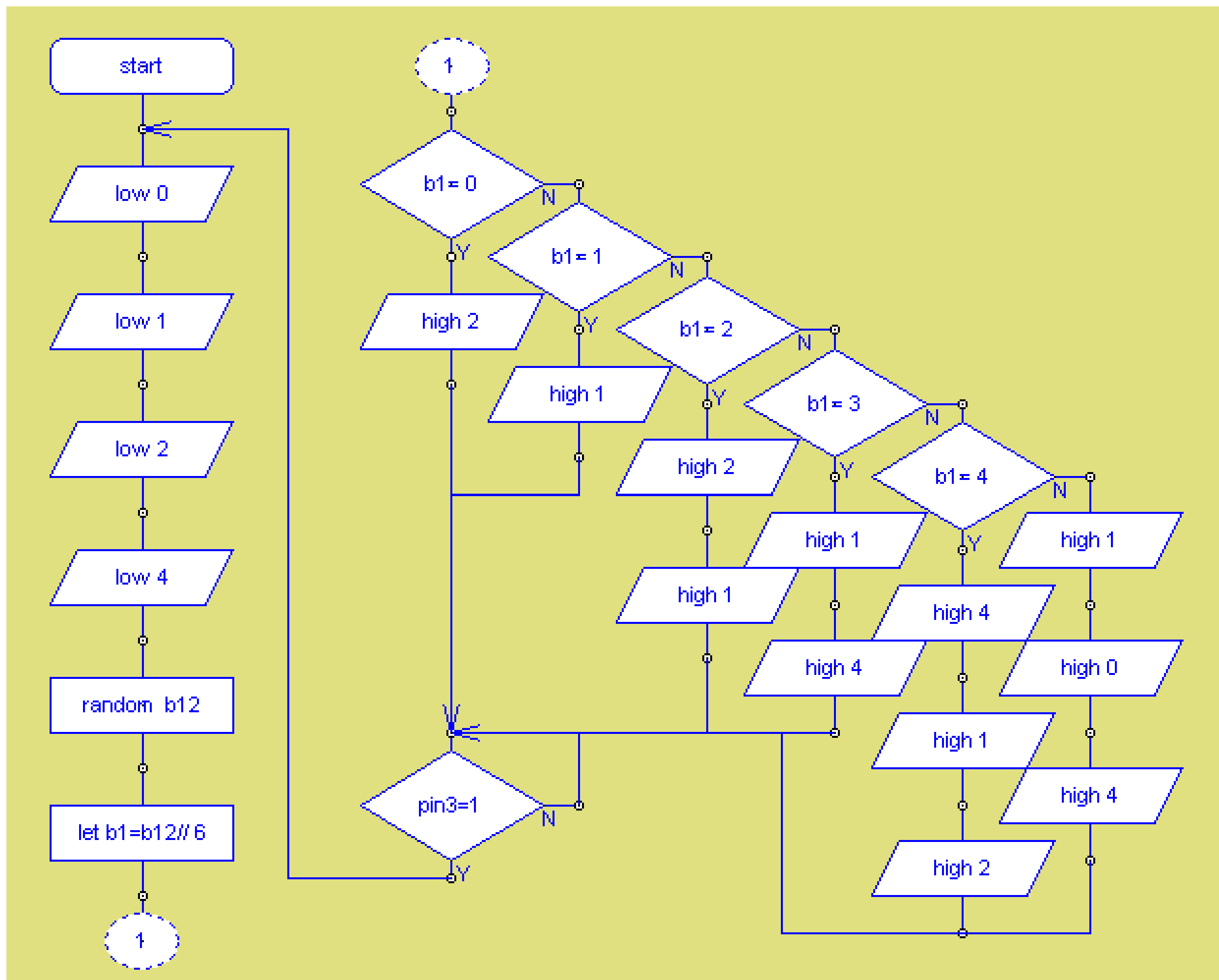


Figura 64: Organigrama dau electrònic

Inicialment apaguem els LEDs (low 0, low 1, low 2, low 4) i generem un número aleatori que desem a b0 (random b0), del qual obtenim el residu de dividir per 6 i el desem a b1 (b1 = b0//6). D'aquesta manera obtenim un nombre entre 0 i 5. Segons aquest nombre emmagatzemat a b1, actuem: si és 0 activem el LED central (high 0) que es visualitza com un 1, si es 1 activem una diagonal (high 1) que es visualitza com un 2, si és 2 activem els LEDs central i una diagonal (high 0, high 1), si es 3 (número 4) activem les dues diagonals (high 1, high 2), si es 4 activem el central i les dues diagonals (high 0, high 1, high 2), en un altre cas es tracta del nombre 6 i activem les diagonals i la parella central (high 1, high 2, high 4). Una vegada visualitzat el nombre esperem que el jugador premi

qualsevol dels polsadors connectats en paral·lel al pin3 (bucle d'espera pin3=1) i tornem a l'inici.

El mateix editor ens proporciona el següent codi en BASIC:

```
' Dau electrònic

'BASIC converted from flowchart:
'C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\JORGE\MIS
DOCUMENTOS\PICAXE\CODI\DAUSIM.CAD
'Converted on 07/08/2007 at 23:36:21


main:
label_6:	low 0
		low 1
		low 2
		low 4
'Note: it is recommended to change byte variable here to word variable!
'(see manual for details about 'random' command operation)
		random  b12
		let b1=b12// 6

		if b1= 0 then label_45
		if b1= 1 then label_62
		if b1= 2 then label_74
		if b1= 3 then label_8D
		if b1= 4 then label_A6
		high 1
		high 0
		high 4
label_22:	if pin3=1 then label_6
		goto label_22


label_45:	high 2
		goto label_22

label_62:	high 1
		goto label_22

label_74:	high 2
		high 1
		goto label_22

label_8D:	high 1
```

```
            high 4
            goto label_22

label_A6:   high 4
            high 1
            high 2
            goto label_22
```

Exemple 3: Porta corredora

A continuació estudiem el cas d'una porta corredora accionada per un motor connectat, mitjançant un L293D a les sortides 0 i 1 d'un PICAXE-08M. Disposem de sensors de presència (entrada 3) i de fi de cursa que ens indiquen quan la porta està totalment oberta (pin2) o tancada (pin4):

- Amb pin0=1 i pin1=0 el motor gira obrint la porta
- Amb pin0=0 i pin1=1 el motor gira tancant la porta
- Qualsevol altre combinació de pin0 i pin1 atura el motor.
- Pin3 rep el senyal del sensor de proximitat (=1 si hi ha algú)
- Pin2 està connectat a un sensor fi de cursa que indica que la porta està completament oberta (=1)
- Pin4 està connectat a un sensor fi de cursa que indica que la porta està completament tancada (=1).

La porta s'obre quan es detecta la presència d'alguna persona. Una vegada oberta, ha d'esperar 15 s sense que detecti ningú abans de començar a tancar-se. Si es detecta alguna persona durant el procés de tancament, la porta ha de tornar a obrir-se.

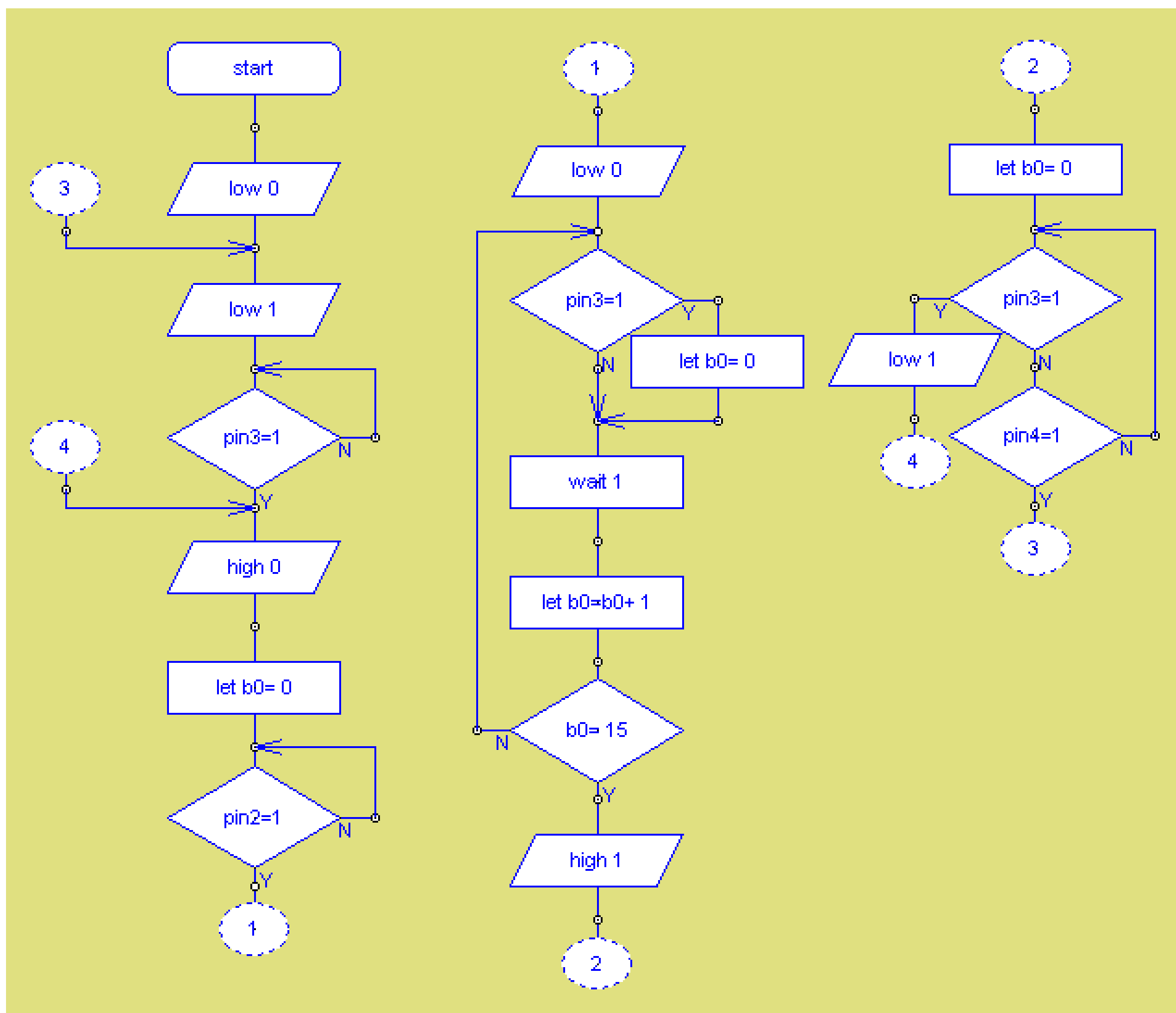


Figura 65: Organigrama porta corredora

A continuació el codi BASIC generat:

```
' Porta corredora

'BASIC converted from flowchart:
'C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\JORGE\MIS
DOCUMENTOS\PICAXE\CODI\PORTA.CAD
'Converted on 07/08/2007 at 23:38:20
```

```
main:
            low 0
label_D:    low 1
label_14:   if pin3=1 then label_20
            goto label_14

label_20:   high 0
            let b0= 0
label_38:   if pin2=1 then label_2E
            goto label_38

label_2E:
            low 0
label_44:   if pin3=1 then label_4F
label_56:   wait 1
            let b0=b0+ 1
            if b0= 15 then label_72
            goto label_44

label_4F:   let b0= 0
            goto label_56

label_72:   high 1

            let b0= 0
label_79:   if pin3=1 then label_84
            if pin4=1 then label_A8
            goto label_79

label_84:   low 1

            goto label_20

label_A8:
            goto label_D
```

Recordeu que una bona font d'informació sobre les ordres dels PICAXE la trobareu al manual de BASIC, disponible en castellà a les darreres versions de l'editor.

XIII. Programació amb BASIC

El BASIC és un llenguatge molt utilitzat a nivell educatiu, entorn per al qual va ser dissenyat.

Recordeu que una bona font d'informació sobre els comandaments BASIC dels PICAXE la trobareu al document picaxe_manual2_es.pdf (disponible en castellà amb les darreres versions de l'editor de programació). Al marge de cada instrucció trobareu unes icones amb els PICAXE que poden utilitzar la instrucció, i podem trobar instruccions diferents per a diferents PICAXE que realitzen funcions similars (infrain per al PICAXE-18X, infrain2 per al PICAXE-08M, ...)

També és molt interessant el document picaxe_manual1_es.pdf que, si bé no és la traducció de l'equivalent en anglès (Picaxe manual 1 Getting started) tal com indica erròniament el sistema d'ajuda de l'editor de programació, sinó que es tracta d'una traducció del manual del kit del PICAXE-28, té una molt bona introducció a la programació en BASIC.

L'editor

Quan activem el ressaltat en colors de l'editor BASIC, ens trobarem amb un ambient molt amigable. Es tracta d'un senzill editor ASCII, però el ressaltat en colors ens permetrà detectar ràpidament errors de sintaxi, ja que si no escrivim correctament la comanda BASIC no es ressaltarà en el color esperat.

Molt interessant és l'opció *PICAXE -> Revisar sintaxis*, que a més a més de mostrar-nos qualsevol error de sintaxis al nostre programa, ens informarà de la memòria que n'ocupa.

Sintaxi BASIC

Com ja heu vist en les conversions a BASIC dels programes d'exemple, ens trobem amb una versió de BASIC molt típica, on podem ometre la paraula let quan assignem valors a les variables, i on trobem les comandes bàsiques de control: if, goto, for/next ... No treballem amb línies numerades, sinó amb etiquetes. Les etiquetes es defineixen amb una terminació de dos punts, i es fan servir directament. El conversor de diagrames de flux a BASIC inventa les seves etiquetes d'una forma molt peculiar (penso que ho fa segons la posició de memòria), però podem posar els noms que vulguem: només cal que els noms de la definició i de la redirecció coincideixin.

Simulació del programa

També podem simular el nostre programa amb la icona de la fletxa groga, tal i com ho fèiem als diagrames de flux.

Plaques virtuals

També tenim disponibles les plaques virtuals , que caldrà activar abans d'iniciar la simulació, al menú *Simulate -> Simulation Panels -> Product Sims*.

Comunicacions sèrie

L'editor BASIC té dues opcions molt interessants: un terminal sèrie (*PICAXE -> Terminal*) i un sistema de captura de dades per aquesta interfície (*PICAXE -> Captura de datos*). Podeu veure un exemple a Captura de dades a l'ordinador (pàgina 69).

Programació estructurada

Podem utilitzar bucles do ... loop i d'altres sentències que ens permeten fer servir una versió més estructurada del llenguatge BASIC.

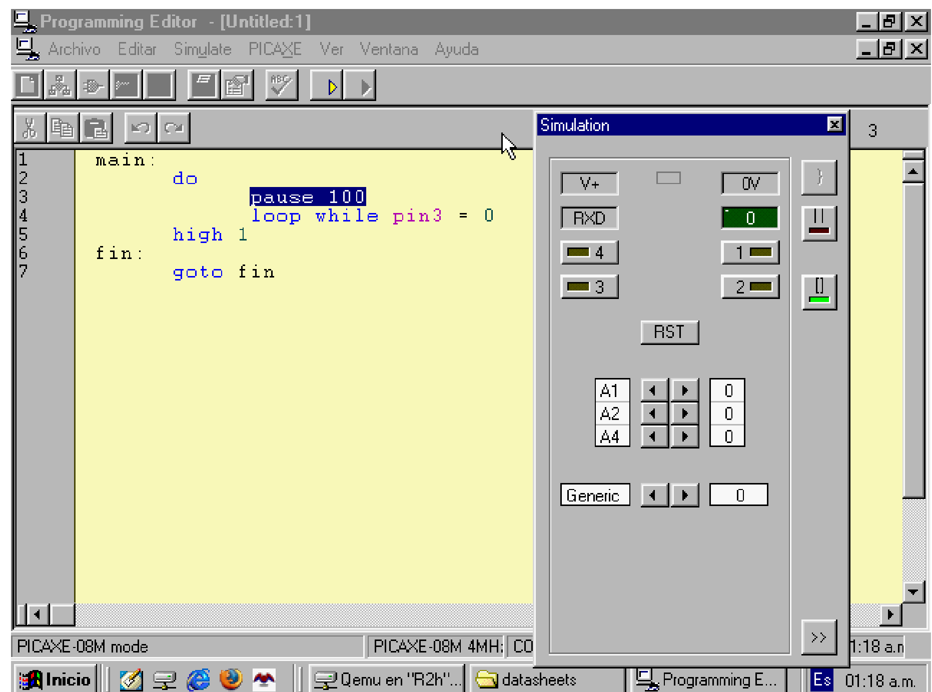


Figura 66: Bucle amb programació estructurada

XIV. Programació amb portes lògiques

L'editor de programació també permet dissenyar, simular i programar els nostres xips com a portes lògiques. És un valor afegit. Ens permet simular aquests sistemes. Fins i tot podríem programar un PICAXE amb una certa funció lògica i que els alumnes treguin la taula de veritat i simplifiquin la funció lògica ...

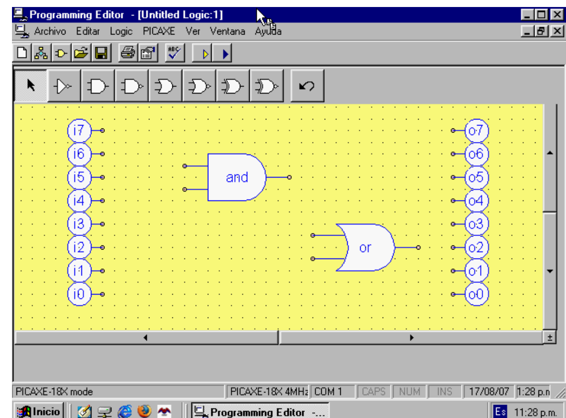


Figura 67: L'editor de circuits lògics

L'editor

Hi accedim clicant a la tercera icona. Amb els seus menús podem inserir diferents tipus de portes lògiques, així com la tensió d'alimentació i la massa.

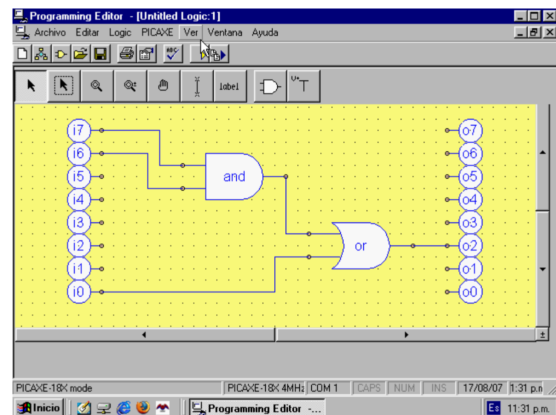


Figura 68: Menú principal

Simulació del circuit

Podem simular el circuit clicant a la fletxa groga, com a la resta d'editors.

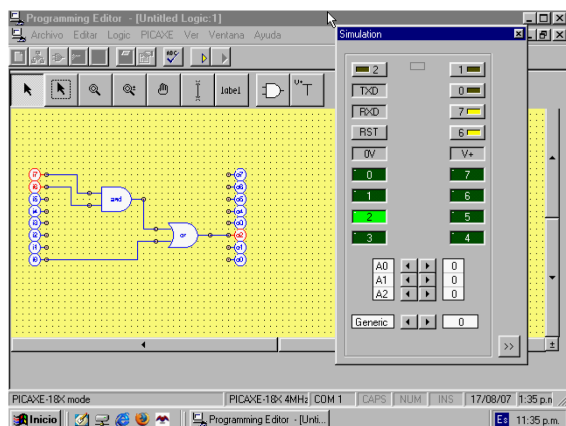


Figura 69: Simulació de circuits lògics

XV. El microcontrolador PICAXE-08M

Es tracta del PICAXE més petit, més econòmic i a la vegada el més nou i optimitzat. Per tot això és molt recomanable per a la seva introducció a segon cicle de l'ESO.

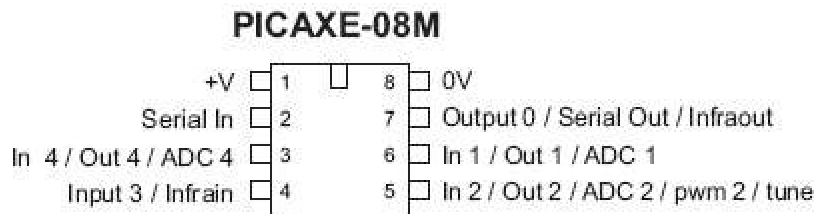


Figura 70: pinout del PICAXE-08M

Algunes de les raons per escollir aquest xip són:

- ☑ El seu baix cost, al voltant dels 2€
- ☑ El reduït nombre de potes, que simplifica el disseny del circuit imprès o la utilització de sistemes de prototips.
- ☑ Permet concentrar-se en els elements més bàsics, donada la seva senzillesa
- ☑ Porta una base de temps integrada que simplifica el seu ús, encara que no es tan precís com un ressonador extern.
- ☑ La seva potència i flexibilitat permet dissenyar molts i interessants projectes.

Veiem algunes de les seves principals característiques (entre parèntesis la pota E/S utilitzada):

- ☑ Memòria de programació de 80 línies.
- ☑ Fins a 4 entrades digitals (Input 3, In 1, In 2 i In 4), que poden rebre senyals RS-232
- ☑ Fins a 4 sortides digitals (Output 0, Out 1, Out 2 i Out 4), que poden enviar senyals RS-232
- ☑ Transmissió (Output 0) i recepció (Input 3) de codis infrarojos.
- ☑ Permet generar PWM, polsos de modulació (pwm 2) en el background, sense

esperar que finalitzin. Les altres sortides també poden generar PWM, però el programa no pot avançar fins la seva finalització.

☑ ADC, convertidor analògic a digital de 10 bits de resolució (ADC 1, ADC 2 i ADC 4)

☑ Executa melodies definides per l'usuari (tune 2), que es poden importar de telèfons mòbils o descarregar d'Internet (més de 1000 melodies disponibles a la web del fabricant). La possibilitat de generar sons amb qualsevol sortida. La melodia ocupa més memòria i cal codificar les notes manualment com a parelles freqüència/duració.

☑ Llegeix temperatures dels sensors DS18B20 utilitzant una sola entrada (In 1, In 2 i In 4). Aquests sensors del fabricant Dallas Semiconductor ens donen la temperatura en forma digital amb una resolució de 9-12 bits en un rang des de -55°C fins als 125°C, a un preu molt raonable, al voltant dels 3€.

☑ Permet gestió d'interrupcions, que executen una subrutina definida per l'usuari. Aquesta funcionalitat és per a usos avançats.

☑ Control de motors. (pwm 2)

☑ Control de servos de radio-control.

☑ Comptador de polsos.

Amb tantes possibilitats no ens ha d'estranyar que amb aquest xip podem fer des del senzill control d'obertura temporitzada d'una porta corredora fins a un petit microrobot hexàpode, com veiem a la imatge.

Figura 71: Robot hexàpode

XVI. La placa AXE092

Aquesta placa distribuïda per l'empresa britànica Revolution Education Ltd porta un PICAXE-08M amb el seu circuit de programació i connexió a l'ordinador, així com una sèrie de components d'entrada i sortida típics, que permet provar multitud de dissenys.

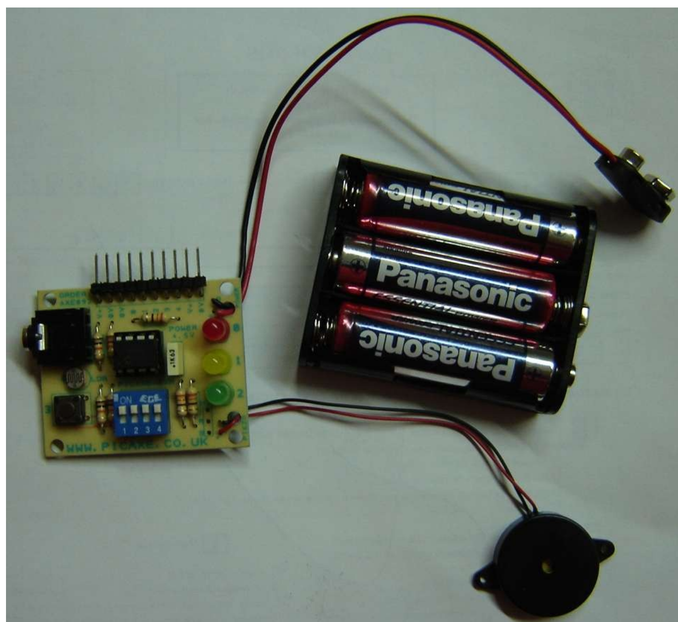


Figura 72: La placa AXE092

Com s'aprecia a la imatge, disposa de 3 LEDs de diferents colors (vermell al pin0, groc al pin1, verd al pin2), un brunzidor (connectat a la mateixa sortida pin2 que el LED2, de color verd), un polsador (al pin3, dona un 0 en repòs) i una LDR al pin4. El fet que el pin2 estigui compartit per un LED i el brunzidor té els efectes de que quan s'activa el LED, el brunzidor fa petits sorolls en el moment de connexió/desconnexió, i quan es fa servir el brunzidor, el LED s'encén una mica. Són petites inconvenients a canvi de la flexibilitat que ofereix aquest disseny.

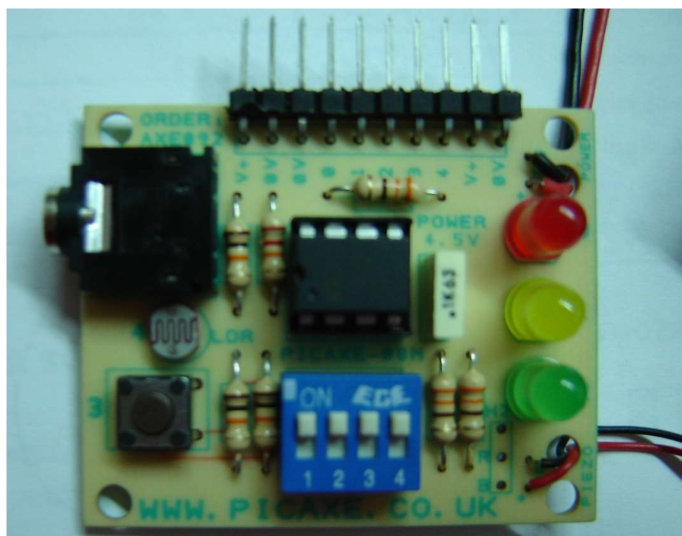


Figura 73: Detall de la placa AXE092

Els components associats als pins 1 a 4 es poden desconnectar del PIC mitjançant els interruptors 1-4 de la part inferior de la imatge. En cas de desconnectar algun component, podem connectar un altre al PIC mitjançant el connector H1. La impossibilitat de desconnexió del pin0 no és cap problema, ja que aquest pin bàsicament serveix com

a sortida i en qualsevol disseny sempre hi haurà algun LED que connectar.

Hem escollit un segment de pins en colze per H1, ja que permet connectar directament aquesta placa a un placa de prototips on es poden connectar còmodament els components que substitueixin als desconnectats del propi circuit imprès.

Soldadura de la placa

La placa es subministra amb els components, als que s'hi ha afegit un segment de pins en colze per fer-ne de connector d'expansió. Cal soldar els components per ordre d'alçada:

- primer les resistències
- després la LDR
- a continuació el segment de pins a l'espai preparat H1
- el polsador
- el sòcol del xip
- el connector jack de programació
- el quàdruple interruptor tipus dip
- el condensador
- els LEDs
- al final els cables, en aquest cas els del brunzidor piezoelèctric i els del connector d'alimentació

Una vegada soldada, hem de comprovar el seu funcionament.

Test de la placa AXE092

Primer s'ha de comprovar que tot funciona correctament: l'editor ben configurat, les piles amb energia, la placa en bon estat ... El millor serà carregar un petit programa que provi tots els components. A l'editor de programació entreu el programa amb el codi BASIC següent:

```
' Test de la placa AXE092

main:
label_14:    if pin3=1 then label_66
             high 0
             wait 1
             low 0
             high 1
             wait 1
             low 1
             high 2
             wait 1
             low 2
             goto label_14

label_66:    readadc  4,b0
             debug  b0
              pwm 2,b0,255
             sound  2,(120,50,80,50,120,50)
             goto label_14
```

Deseu el codi amb el nom testAXE092.bas

Tot seguit ja es pot connectar la placa al portapiles (compte amb la polaritat de les piles, hem de fer servir el portapiles de 4,5V, mai cediu a la temptació de posar un pila de 9V ja que faríeu mal bé el PIC!!!). Ja es pot connectar la placa a l'ordinador amb el cable sèrie. Els quatre interruptors de la placa han de ser en ON.

Figura 74: 1, 2, 3 i 4 ON

A l'editor, activant l’opció *PICAXE->Ejecutar* (F5), en uns segons el programa estarà funcionant. Si tot ha anat bé, els LEDs fan la seqüència vermell – groc -verd. Al prémer el polsador, s’encén el LED verd amb una intensitat proporcional (ordre pwm) al llum que rep la LDR i genera un soroll amb una freqüència proporcional a la llum que detecta la LDR, seguida d'una curta melodia. A l'ordinador es pot apreciar com la variable b0 (que envia el PIC amb l'ordre debug b0) va canviant segons la intensitat de llum.

Qualsevol desviació d'aquest comportament indica algun anomalia en la placa o l'entorn.

Luxímetre

Com a primer exemple de disseny farem un luxímetre, que permetrà saber si la llum que rebem és adient per prendre fotografies.

El programa, en prémer el polsador, llegirà la llum que rep la LDR i segons uns valors de referència determinarà si la llum és pobre (encendrà el LED vermell), escassa (LED groc) o gaudim de bona il·luminació (encendrà el LED verd i emetrà una melodia).

Introduïu el programa:

```
' Luxímetre

main:
label_05:   low 0
            low 1
            low 2
label_10:   if pin3=0 then label_10
            readadc  4,b0
            if b0<128 then label_44
            high 2
            sound  2,(120,50,80,50,120,50)
            goto label_05
label_44:   if b0<64 then label_64
            high 1
```

```
            goto label_05
label_64:   high 0
            goto label_05
```

Deseu-lo amb el nom luximetre.bas.

Carregueu-lo al PIC (F5). Ja podeu desconnectar el cable que va a l'ordinador i passejant-nos fent proves de llum.

Microones de joguina

Recupereu el disseny del forn microones de joguina.

Carregueu a l'editor, el diagrama de flux d'aquell disseny.

Fixeu-vos que podeu aprofitar el brunzidor de la placa AXE092, ja que també va connectada al pin2, encara que també s'encendrà el LED verd. No importa, tindrem un senyal lluminós a més a més de l'acústic quan el forn s'aturi. El polsador està connectat al mateix pin3. Però manca un potenciòmetre connectat al pin1 (on a la placa tenim un LED) i un LED connectat al pin4 (hi tenim una LDR).

Figura 75: 1 i 4 OFF, 2 i 3 ON

El connector en colze és la solució. Primer desconnecteu el LED del pin1 i la LDR del pin4 posant els interruptors 1 i 4 a OFF (els 2 i 3 a ON per aprofitar el brunzidor i el polsador de la placa).

A la placa de prototips i connecteu, amb cables, els següents forats:

- A2 amb B2
- B1 amb L1
- A16 amb I7

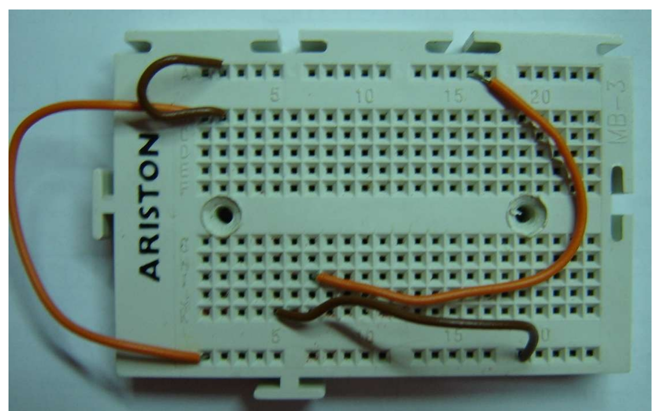


Figura 76: Connexions al protoboard

- L19 amb K5

Els cables han de deixar la zona de C1-C15 a E1-E15 lliure per a connectar després la placa.

Ara connecteu els components:

- El potenciòmetre de 10kΩ amb el cursor (pota del mig) a F6 i els extrems els connectem a H5 i a H7.
- La resistència de 330Ω entre F3 i I3.
- El LED amb la pota més llarga (+) a K3 i la més curta (-) a L3.

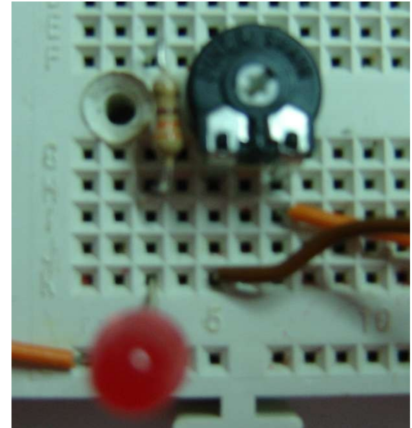


Figura 77: Components externs

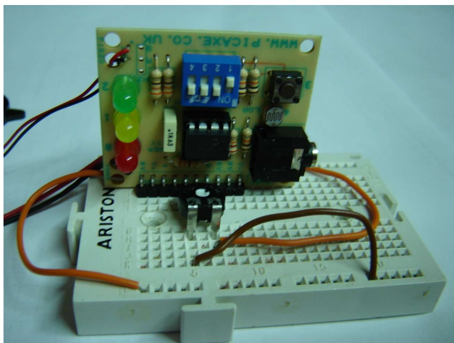


Figura 78: Prototip microones

Ara ja es pot connectar la placa, amb els pins en colze ocupant els forats D1-D10 i els LEDs a la banda més propera a la columna 1.

Des de l'editor de programació, executeu *PICAXE->Ejecutar* (F5) i ja tindreu la simulació del forn microones en marxa. Amb un tornavís reguleu el temps i premeu el polsador. Feu proves per a diferents temps (el màxim amb el potenciòmetre a fons d'escala hauria de ser d'uns 255s, es a dir, un 4 minuts 15 segons).

Captura de dades a l'ordinador

És important recordar que la connexió de programació amb l'ordinador permet enviar-li dades sense ocupar cap pin (la pota del PIC que ho fa només s'utilitza per transmetre a l'ordinador). Les dades de les entrades es poden recollir i enviar-les a l'ordinador ... interessant, no?

Trèieu el LED i la resistència de la placa de prototips i en el seu lloc posareu la LDR (interruptor 4 a ON).

El programa següent és un exemple d'aplicació:

```
' Captura de dades a l'ordinador

main:
label_10:
label_20:     if pin3=0 then label_20
              sertxd ("mostra,potenciometre,LDR",13,10)
              for b0=0 to 255
                    readadc  1,b1
                    readadc  4,b2
                    sertxd (#b0,",",#b1,",",#b2,13,10)
                    pause 200
                    next b0
              goto label_10
```

Ara a l'editor de programació executeu *PICAXE->Enlace de datos* (F9). Configureu a *Opciones* la velocitat de connexió a 4800 bauds i 2 sensors. Activem la generació d'un gràfic. Anem a *Archivo->Nuevo*. Premem el polsador de la placa. Veieu com varien els senyals amb el llum o si varieu el potenciòmetre.

Generador de baixa freqüència

Amb el mateix maquinari de l'activitat anterior programeu el PIC amb el següent codi:

```
' Generador de baixa freqüència

main:

label_66:     readadc  1,b0
              let b1=b0/2
              sound 2, (b1,1)
              goto label_66
```

Fixeu-vos com canvia la freqüència del so en funció del valor del potenciòmetre.

XVII. La placa AXE021

Es tracta d'una placa per fer ràpidament prototips amb el PICAXE-08M. Porta el circuit de programació, la connexió d'alimentació, sòcol per al xip, i una zona de prototips amb zones de 3 forats connectats.

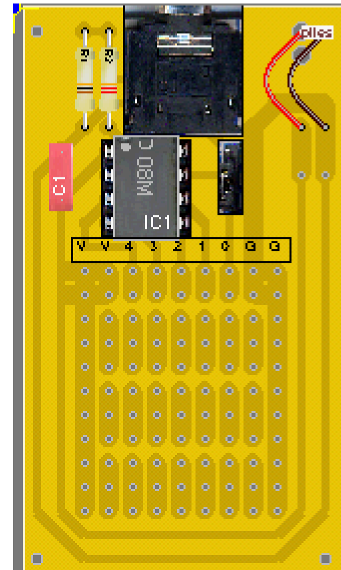
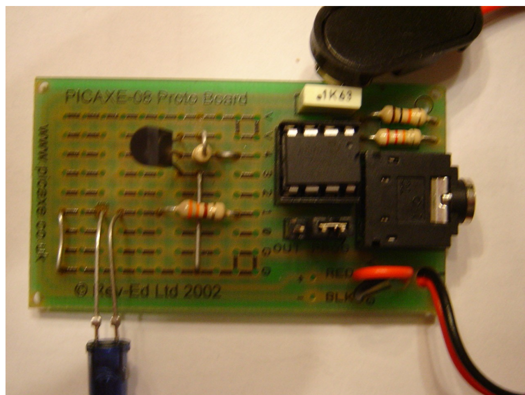


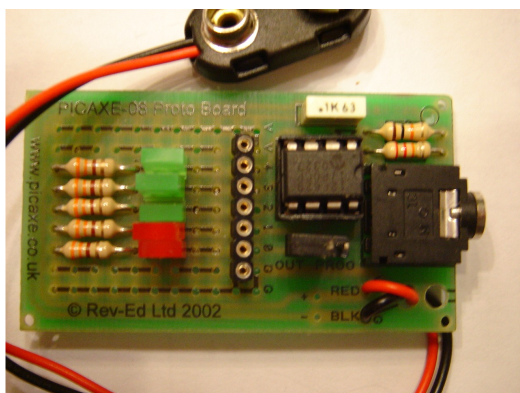
Figura 79: Placa AXE021

Permet amb pocs minuts fer prototips, especialment quan es tracta de connectar pocs components al PICAXE-08M i no fem servir totes les seves potes. Especialment interessant per treballar amb la sortida 0 , ja que la placa AXE-092 porta un LED que no podem desconnectar. Veiem alguns exemples:



Emissor d'infrarojos i sensor de temperatura DS18B20.

Mesura la temperatura i envia el seu valor per infrarojos en codis SIRC i pel canal sèrie al PC



3 entrades 2 sortides amb LED indicador.

Amb el connector podem connectar les entrades a sensors fi de cursa i de presència i les sortides a un L293D per comandar un motor (porta corredora).

XVIII. La placa FTM08

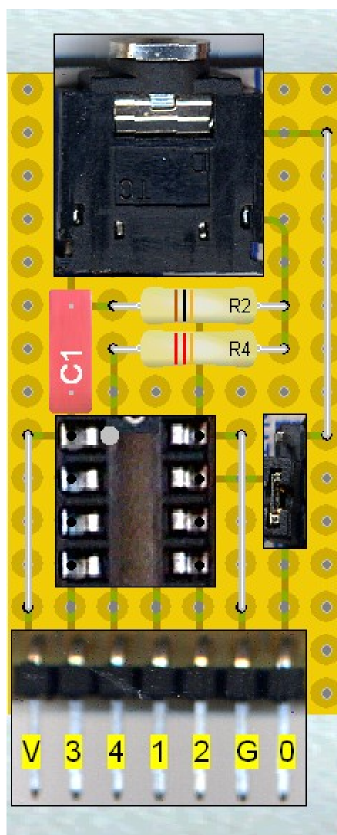
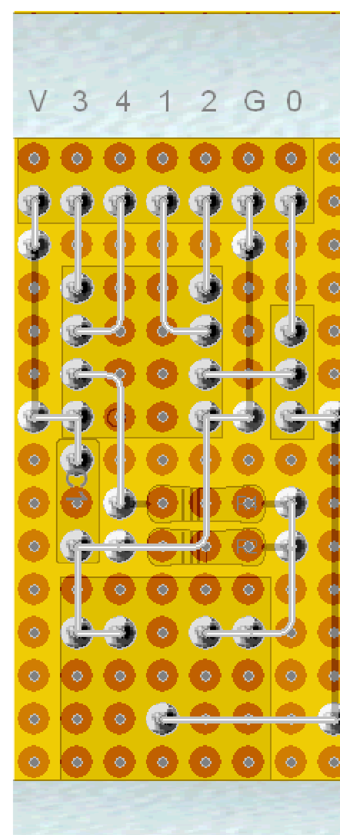


Figura 80: Placa FTM08

Quan al curs 2003-2004 vaig introduir al meu centre els PICAXE a 1r de Batxillerat i 4t d'ESO vaig dissenyar una placa de baix cost molt interessant per treballar amb protoboards. Aquesta placa l'anomenaré FTM08 (Fes Tu Mateix 08). Feta amb una placa de prototips, porta un PICAXE-08 (avui en dia podríem posar a la mateixa placa un PICAXE-08M) amb la interfície de programació, un connector en colze per connectar-la al protoboard i un commutador fet amb tres pins i un jumper per seleccionar el mode programació (pin0 com a TxD al connector de programació) o execució (pin0 al connector en colze). Les pistes es fan amb retalls de potes de resistències o fil de connexió de forma artesanal. Amb aquest disseny els alumnes de 1r de Batxillerat de l'optativa d'electrònica vam fer les 10 primeres plaques que vaig utilitzar al meu centre.



XIX. Les plaques de projectes econòmiques

Aquestes plaques són excel·lents quan volem que l'alumne s'emporti un projecte quan l'acabat, especialment a nivells introductoris.

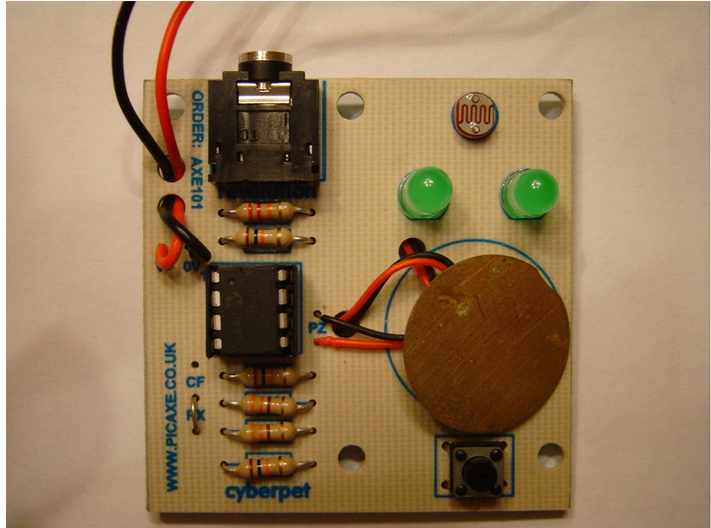


Figura 81: Placa AXE101, mascota electrònica

Podem comprar els kits complets o només les plaques de circuit imprès al distribuïdor de PICAXE, a un preu molt competitiu.

Podem simular les plaques al nostre editor, tant en BASIC com en diagrama de flux.

Per altra banda, no cal limitar-se a la funció per a la qual el fabricant va dissenyar la placa. Si ens interessen els mateixos components, podem fer servir una placa destinada a un altre propòsit, només cal canviar el programa. O podem fer petits canvis (soldar un component per un altre o a un altre lloc, o uns cables ...) per adequar-la al nostre interès.

XX. Disseny de projectes

En les pàgines anteriors ja s'ha vist la potència del PICAXE-08M i de la placa AXE092. Podem utilitzar aquesta placa per fer el nostres prototips, i per programar PICs que posteriorment es poden integrar en aplicacions autònomes sense aquesta placa. El connector d'expansió H1 permet treballar amb una placa de prototips i substituir alguns dels components connectats per defecte. Ara és hora de posar en pràctica tot el que hem après i deixar volar la nostra creativitat.

- Escolliu una del les següents propostes com a requeriment del vostre projecte. Penseu que no totes les propostes tenen la mateixa dificultat. Les primeres són més senzilles, les darreres més complicades.

- Realitzeu l'estudi d'entrades i sortides. Associeu-les a les diferents potes del PIC, tenint en compte els components de que disposem a la placa AXE092. Especifiqueu quins components d'aquesta placa caldrà desconnectar i prepareu la placa de prototips amb els components que ocupen el seu lloc.

- Dissenyeu el programa de control. Comproveu el seu correcte funcionament en el simulador. Podeu fer servir alguna de les plaques virtuals en cas de coincidència dels components connectats.

- Dissenyeu una bateria de proves que verifiquin el correcte funcionament del prototip en qualsevol situació.

- Transferiu el vostre programa al PIC. Verifiqueu el funcionament i la resposta a la bateria de proves.

- Una vegada funcionant, penseu si podeu millorar el producte amb modificacions que millorin les prestacions i que no encareixin gaire el preu. Poseu en pràctica aquestes idees, que faran el vostre producte més competitiu.

- Dissenyeu el vostre producte sense utilitzar la placa AXE092. No cal incloure el circuit de programació: podem programar els PICs amb la placa AXE092 i posar-los al teu producte programats.

- Dibuixeu l'esquema elèctric del circuit.

- Dissenyeu la placa de circuit imprès. Podeu fer servir paper quadriculat: cada quadre pot representar els 2,54 mm de separació estàndard entre

potes dels components. Tal vegada el disseny del circuit es simplifiqui si s'altera l'assignació dels pins: comproveu que amb la nova assignació no hi ha cap problema (per exemple, el brunzidor l'hem de mantenir connectat al pin2 i volem fer servir les ordres tune o play ...)

- Feu un pressupost del vostre producte. Calculeu el preu per a una producció de 1000 unitats. El cost del procés de R+D s'ha de repercutir sobre el conjunt de producció.

Capsa de música

El producte està destinat a romandre a l'interior d'una capsa. A l'obrir la capsa, ha de sonar una melodia. La melodia es repeteix fins que l'interior torni a la foscor al tancar la caixa.

Ajut: cal utilitzar l'ordre tune, que reprodueix una melodia pel pin2. Aquí veiem un exemple que reprodueix la banda sonora de la sèrie televisiva Doraemon:

```
'Doraemon Theme
tune 0,
4,($27,$40,$00,$44,$09,$44,$07,$6C,$07,$49,$07,$44,$05,$44,$02,$6C,$29,$4
2,$02,$45, $0B,$4B, $09,$47,$05,$6C,$05,$44,$29,$2B,$6C,$40,$02)
```

Hi ha moltes melodies (més de 1000) a la web de PICAXE, a l'apartat software (cal anar a la versió anglesa de la web).

De fet, el PICAXE-08M porta quatre melodies prèviament programades i ja incorporades al PIC que es reprodueixen amb l'ordre play:

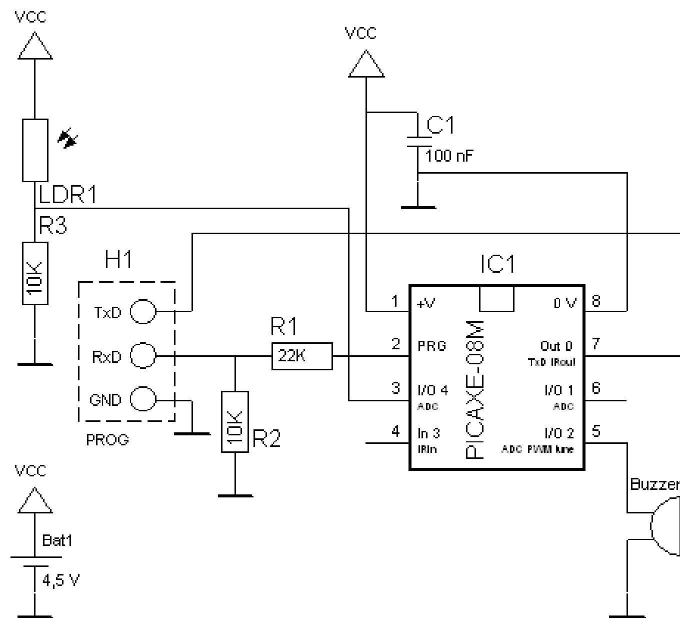
```
play 1,0
```

El primer paràmetre indica la melodia (0-3). El segon paràmetre indica si la melodia serà acompanyada amb llums a altres pins (0=no).

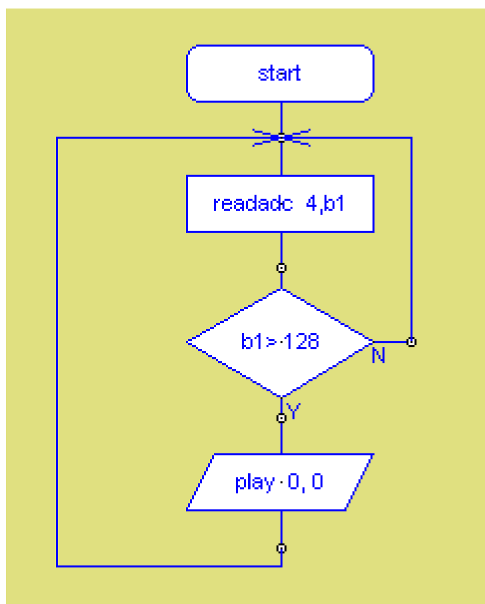
Una versió més completa podria utilitzar les entrades no utilitzades per llegir uns interruptors que permetin seleccionar la melodia entre un conjunt carregat al PIC.

Placa desenvolupament

Com només farem servir la LDR i el brunzidor de la placa posem els interruptors 2 i 4 a ON.



Podem fer un diagrama de flux amb l'ordre play:

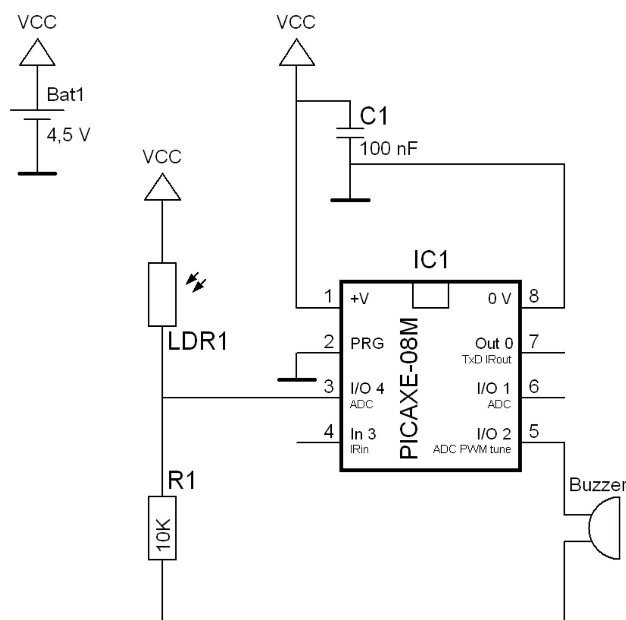


Programa amb l'ordre tune:

```
' Capsa de música

main:
label_3D:	readadc  4,b1
		if b1> 128 then label_89
		goto label_3D

label_89:
'Doraemon Theme
	tune 0, 4, ($27, $40, $00, $44, $09, $44, $07, $6C, $07, $49, $07, $44,
$05, $44, $02, $6C, $29, $42, $02, $45, $0B, $4B, $09, $47, $05, $6C, $05, $44,
$29, $2B, $6C, $40, $02)
		goto label_3D
```

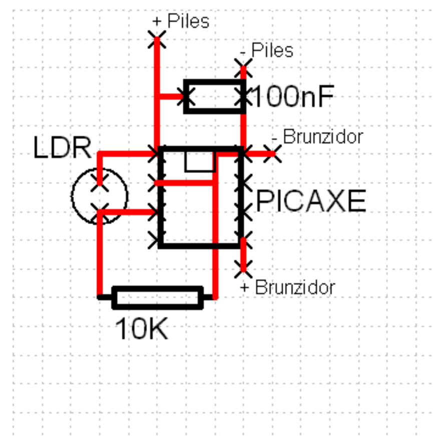
Placa de producció

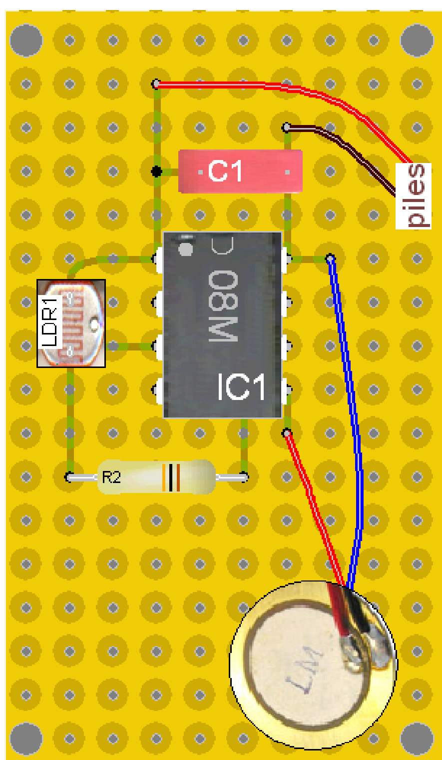
Podem eliminar la part de programació.

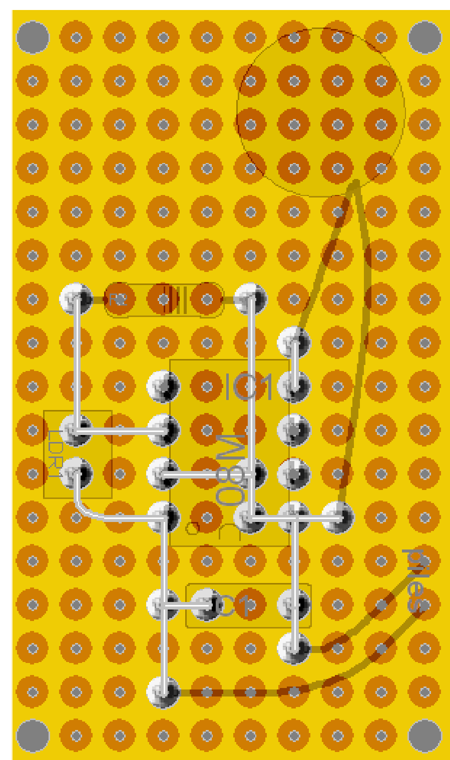


Podem dissenyar la nostra placa de circuit imprès amb paper quadriculat: cada quadrat serà 2,54mm. Dibuixem el contorn dels components. Farem creus als punts de soldadura i dibuixarem en color vermell les pistes (si tinguéssim ponts a

la cara de components els faríem de color blau)



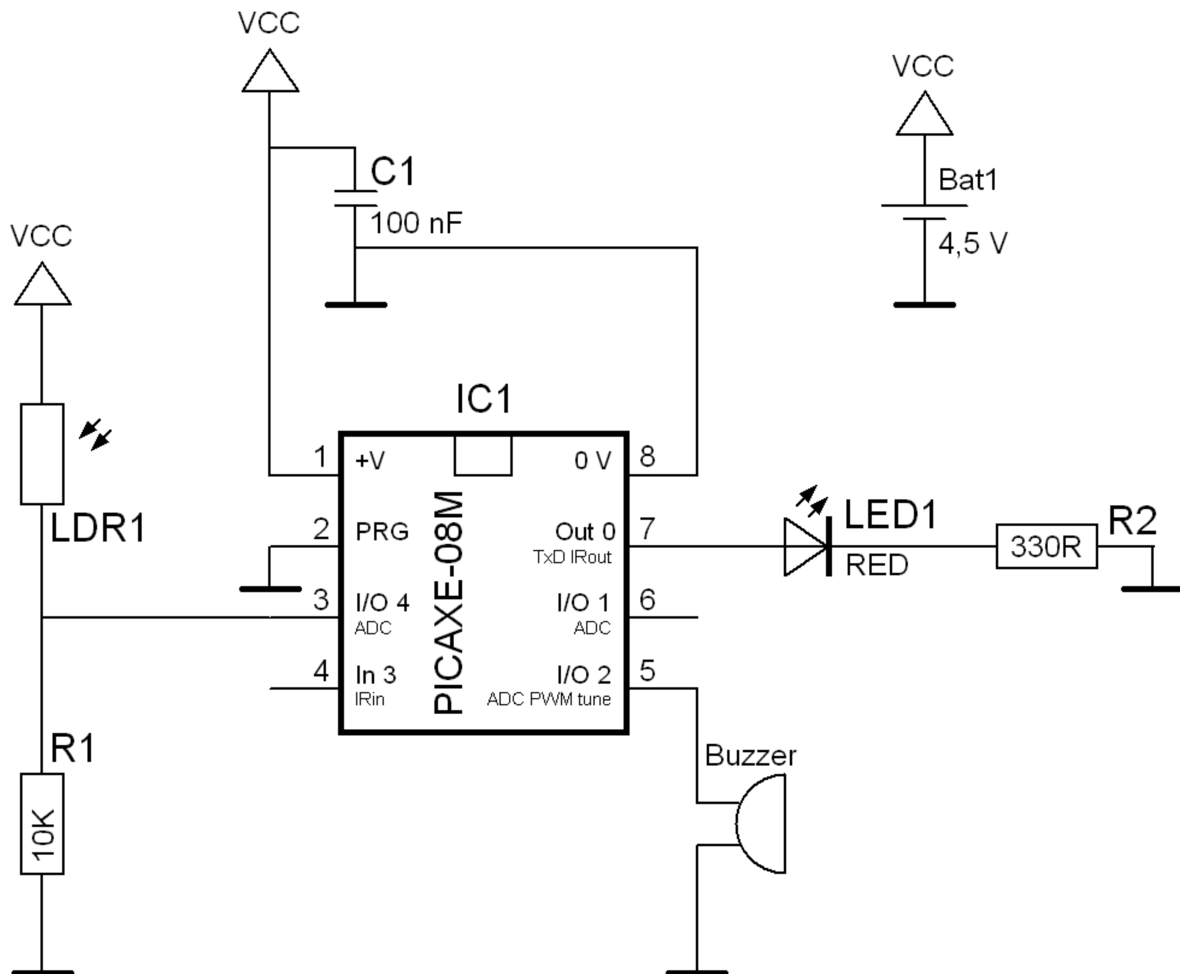




Versió millorada amb llums

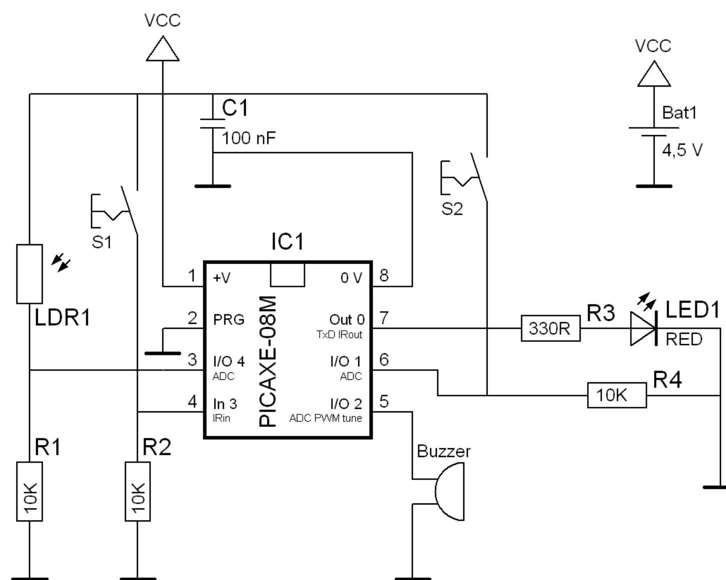
Les ordres play i tune permeten acompanyar la melodia amb els LEDs als pins 0 i

4. Com el 4 el tenim ocupat, i per versions millors també ocuparem el 1 que podríem utilitzar per lliberar el 4, ens limitarem a utilitzar el 0 per acompanyar amb un LED la música:



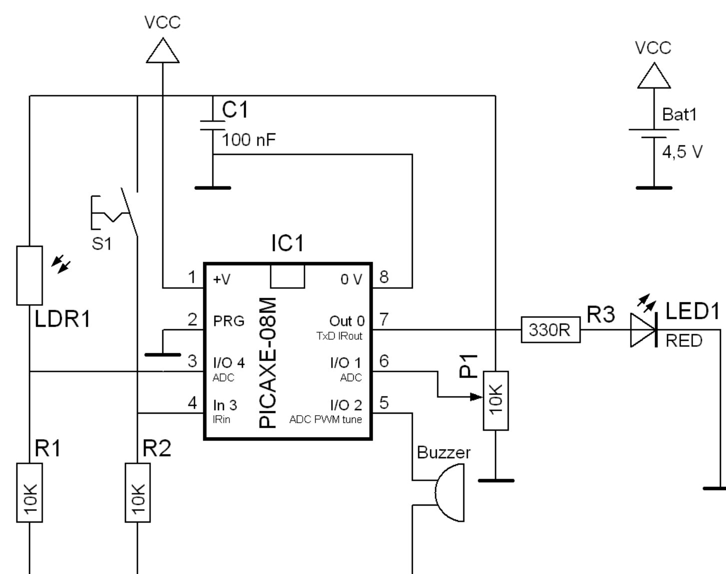
Versió millorada amb selector de melodia i una llum

Podem disposar de 2 interruptors per seleccionar la melodia. Caldria llegir aquestes entrades i utilitzar el seu valor en ordres if o branch per executar la melodia desitjada.



Versió millorada amb selector per potenciòmetre

Podem ampliar el nombre de opcions a escollir si en lloc d'interruptors utilitzem un potenciòmetre com a selector de melodia. Encara tenim un interruptor que ens permet altres funcionalitats (aturar la melodia, anul·lar l'acompanyament del LED ...)

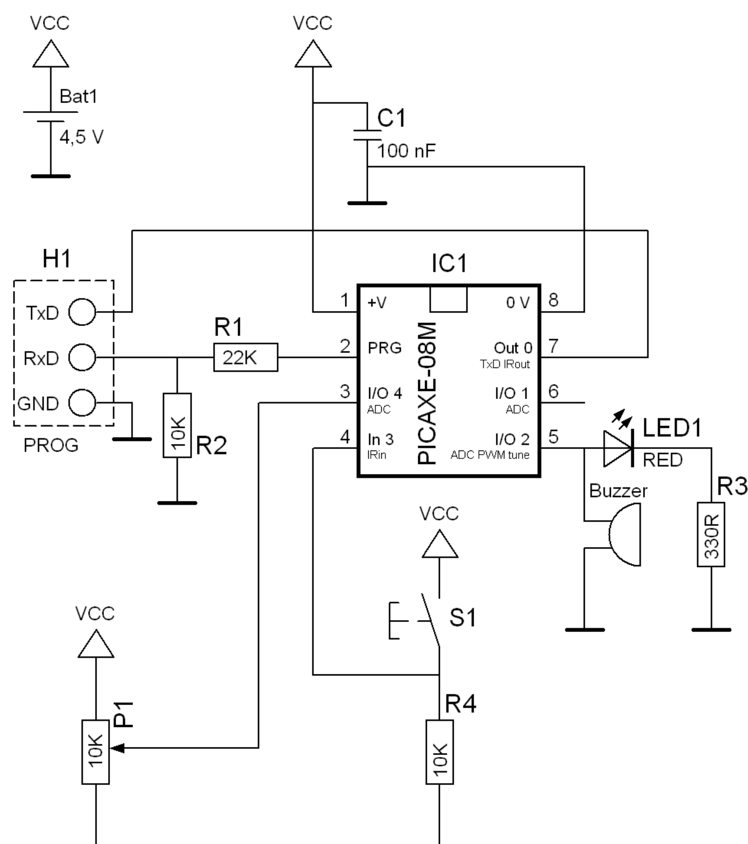


Metrònom

Genera un senyal acústic i lluminós que es repeteix periòdicament per marcar el temps dels compassos de música. Un potenciòmetre ha de variar el període. Un polsador ha de permetre l'encesa i l'apagada del circuit.

Placa de desenvolupament

Podem aprofitar el brunzidor i el seu LED associat, així com el polsador. Però necessitem un potenciòmetre, que podem connectar a una placa de prototips anul·lant la LDR al pin4. Per tant posarem els interruptors 2 i 3 a ON i el 4 a OFF.

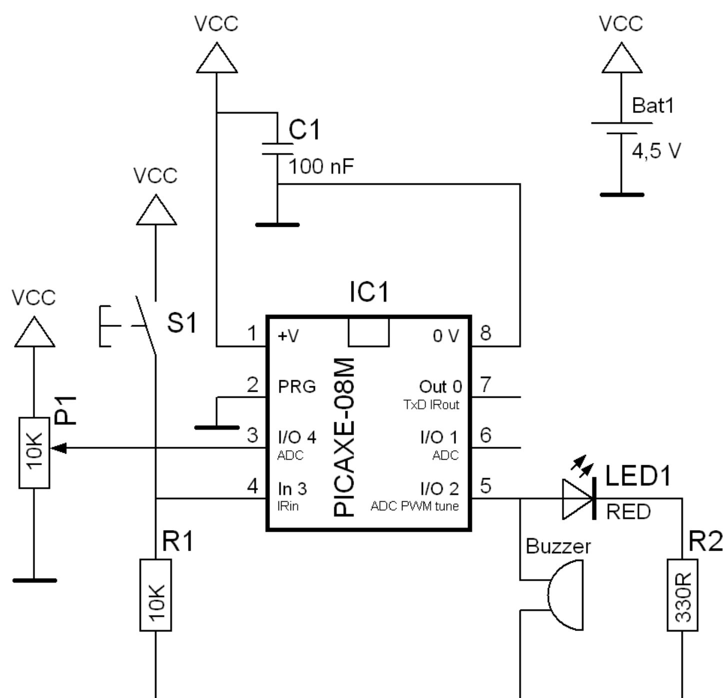


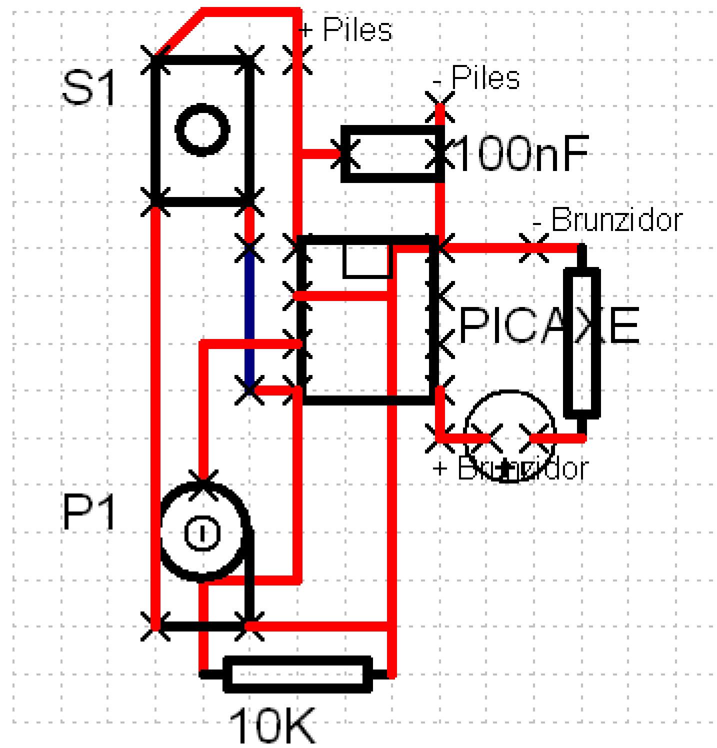
El potenciòmetre el connectarem als forats F3 (cursor), H2 i H4. Posarem ponts entre D2 i J4 i entre E1 i J2. La placa AXE-092 la connectarem a B1-B10.

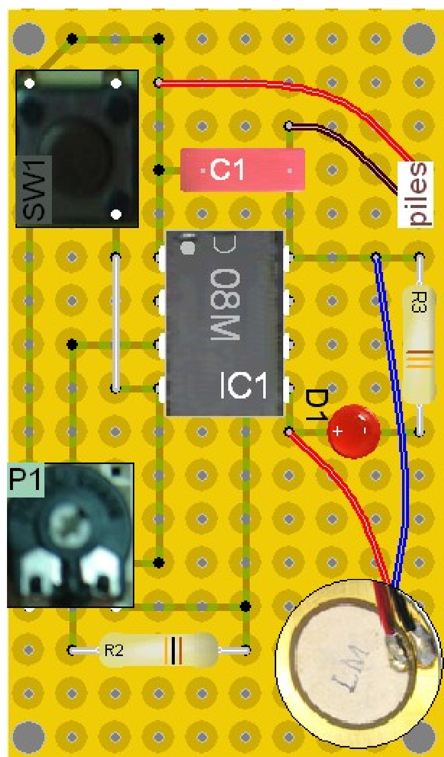
Programa:

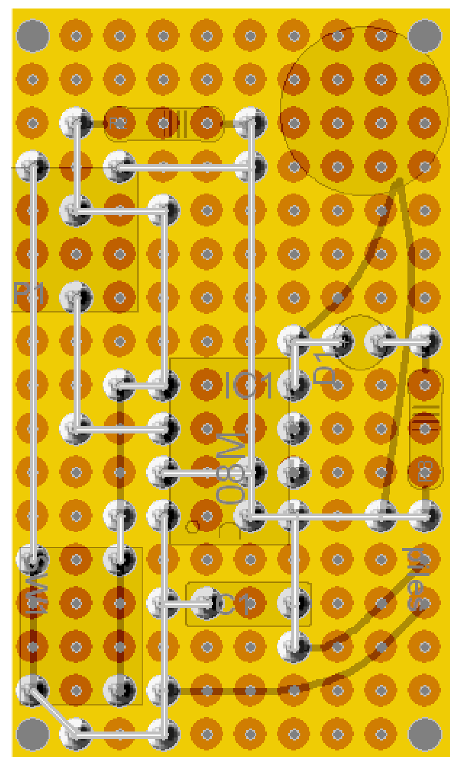
```
' Metrònom

main:
label_10:    if pin3=0 then label_10
label_20:
             readadc  4,b0
             sound 2,(30,50)
             for b1 = 1 to b0
                  pause 20
                  if pin3=1 then label_30
                  next b1
             goto label_20
label_30:    if pin3=1 then label_30
             goto label_10
```

Placa de producció




+ Piles
S1
- Piles
100nF
- Brunzidor
PICAXE
+ Brunzidor
P1
10K


SW1
C1
piles
08M
IC1
R3
D1
P1
R2



Regulador de llum

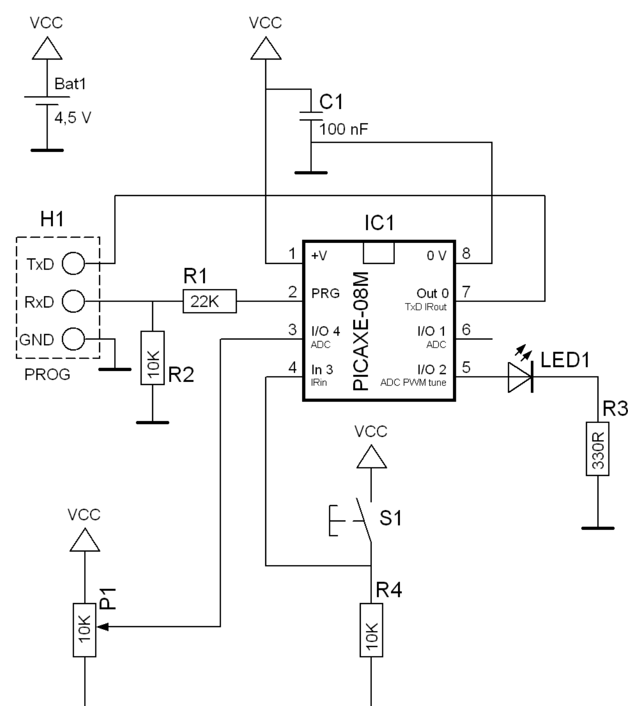
Es tracta de regular amb un potenciòmetre, la intensitat de llum emesa per un LED. Per encendre i apagar el LED ha d'haver-hi un polsador.

Una versió més completa podria anar així. El llum es genera amb 3 LEDs, de manera que per valors baixos del potenciòmetre, s'encén únicament un LED de forma progressiva. Per valors alts encenem al 100% un, dos o els tres LEDs.

Placa de desenvolupament

Podem aprofitar el LED al pin2 per a la sortida,i el polsador al pin3. Ens caldrà un potenciòmetre que pot substituir a la placa de prototips la LDR al pin4. Per tant posarem els interruptors 2 i 3 a ON, i el 4 a OFF.

El potenciòmetre el connectarem als forats F3 (cursor), H2 i H4. Posarem ponts entre D2 i J4 i entre E1 i J2. La placa AXE-092 la connectarem a B1-B10.

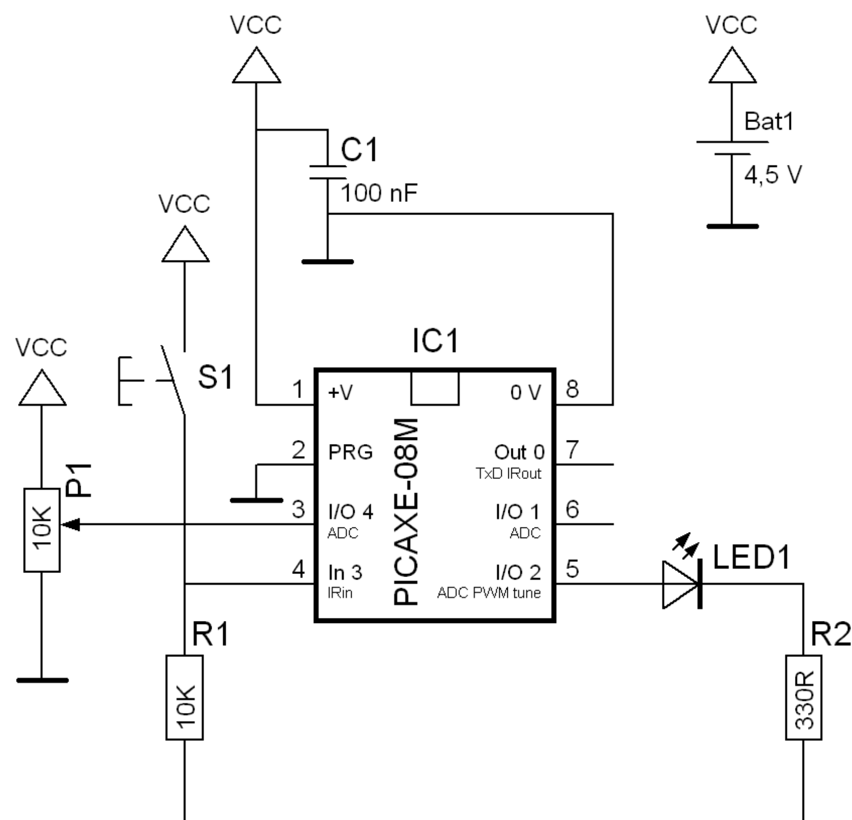


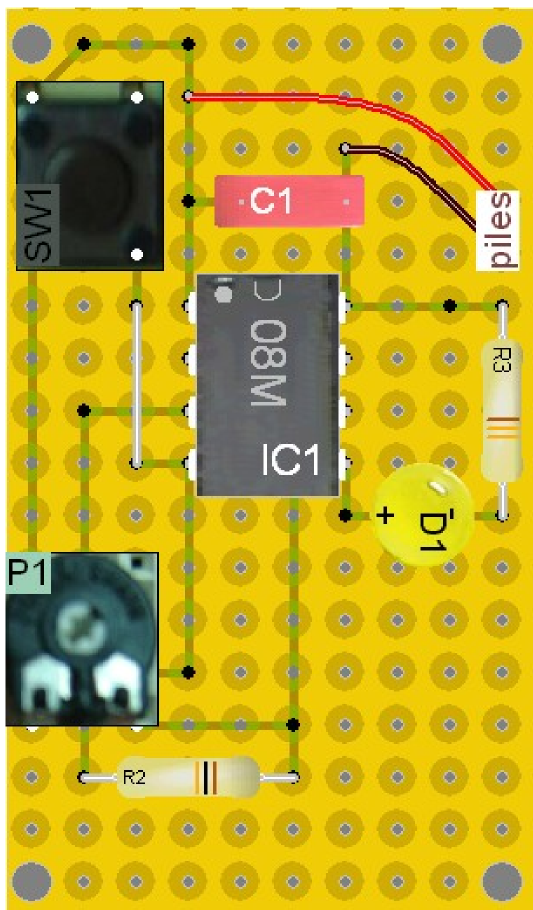
Programa

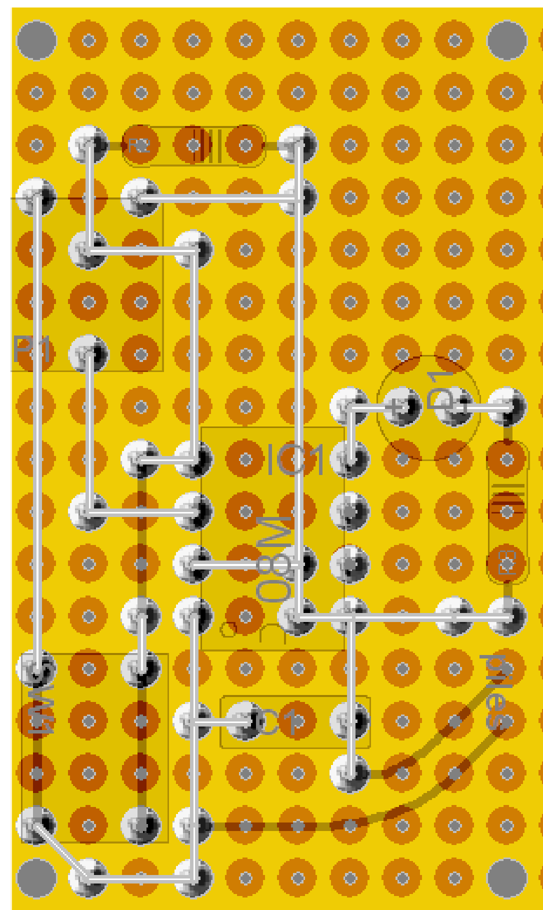
```
' Regulador de llum

main:
label_10:    if pin3=0 then label_10
label_15:    if pin3=1 then label_15
label_20:
        readadc  4,b0
        pwmout 2,255,b0
        if pin3=1 then label_30
        goto label_20
label_30:    pwmout 2,0,0
label_40:    if pin3=1 then label_40
        goto label_10
```

Placa de producció

Ens podrem estalviar els components de programació.







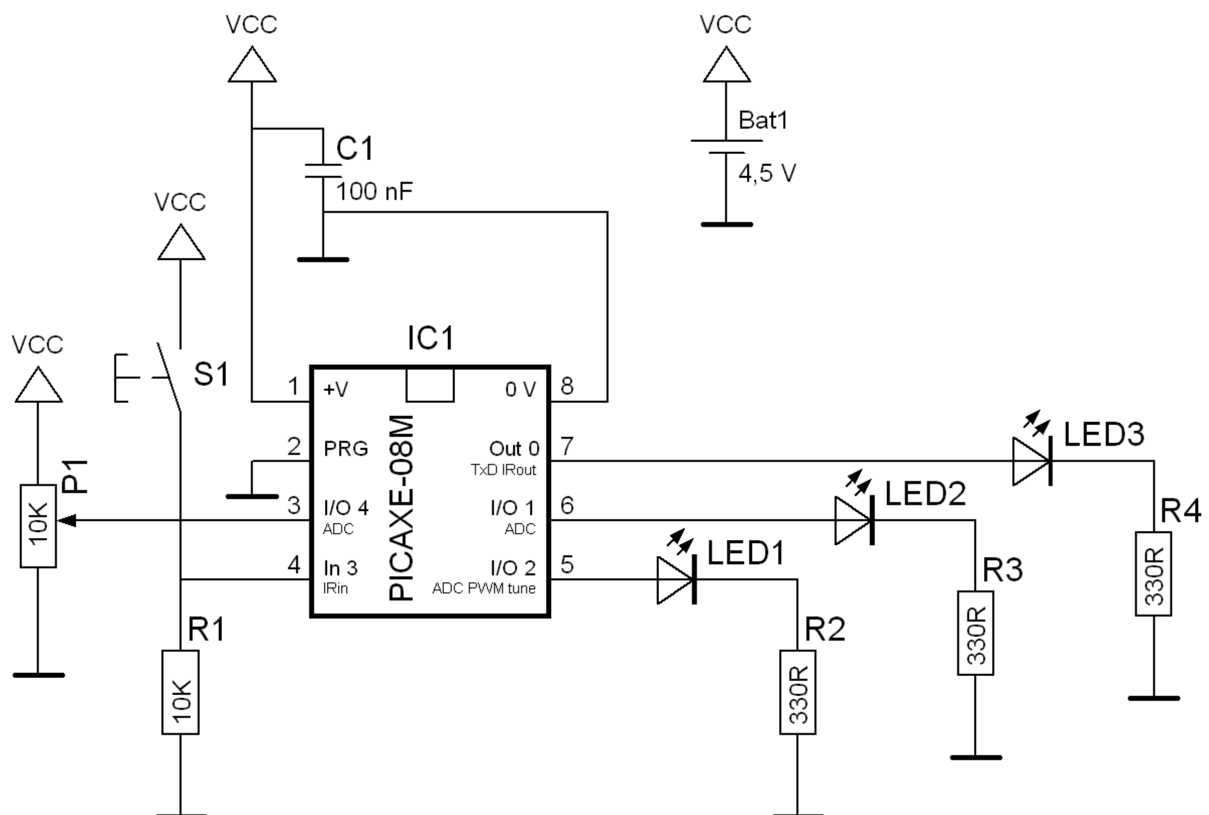
Versió millorada amb 3 LEDs

Aquesta versió la podem comprovar directament a la placa AXE-092. El brunzidor associat al pin2 farà un soroll que harem de suportar.

Programa

```
' Regulador de llum

main:
label_10:     if pin3=0 then label_10
label_15:     if pin3=1 then label_15
label_20:
              if pin3=1 then label_99
              readadc  4,b0
              b1=2*b0
              if b0<127 then label_25
              pwmout 2,0,0
              low 1
```

```
            low 0
            high 2
            if b0<168 then label_20
            high 1
            if b0<201 then label_20
            high 0
            goto label_20
label_25:   low 2
            low 1
            low 0
            pwmout 2,255,b1
            goto label_20
label_99:   pwmout 2,0,0
            low 2
            low 1
            low 0
label_100:  if pin3=1 then label_100
            goto label_10
```

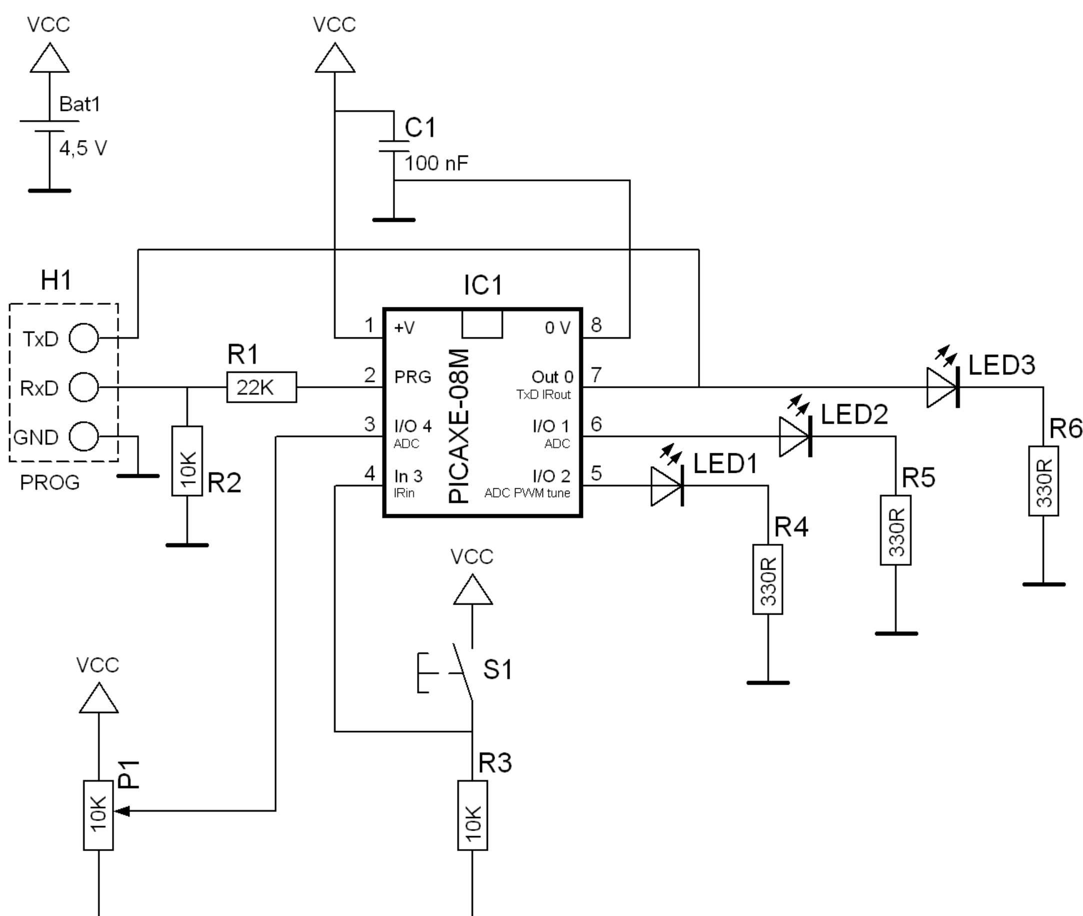


Llum de nadal

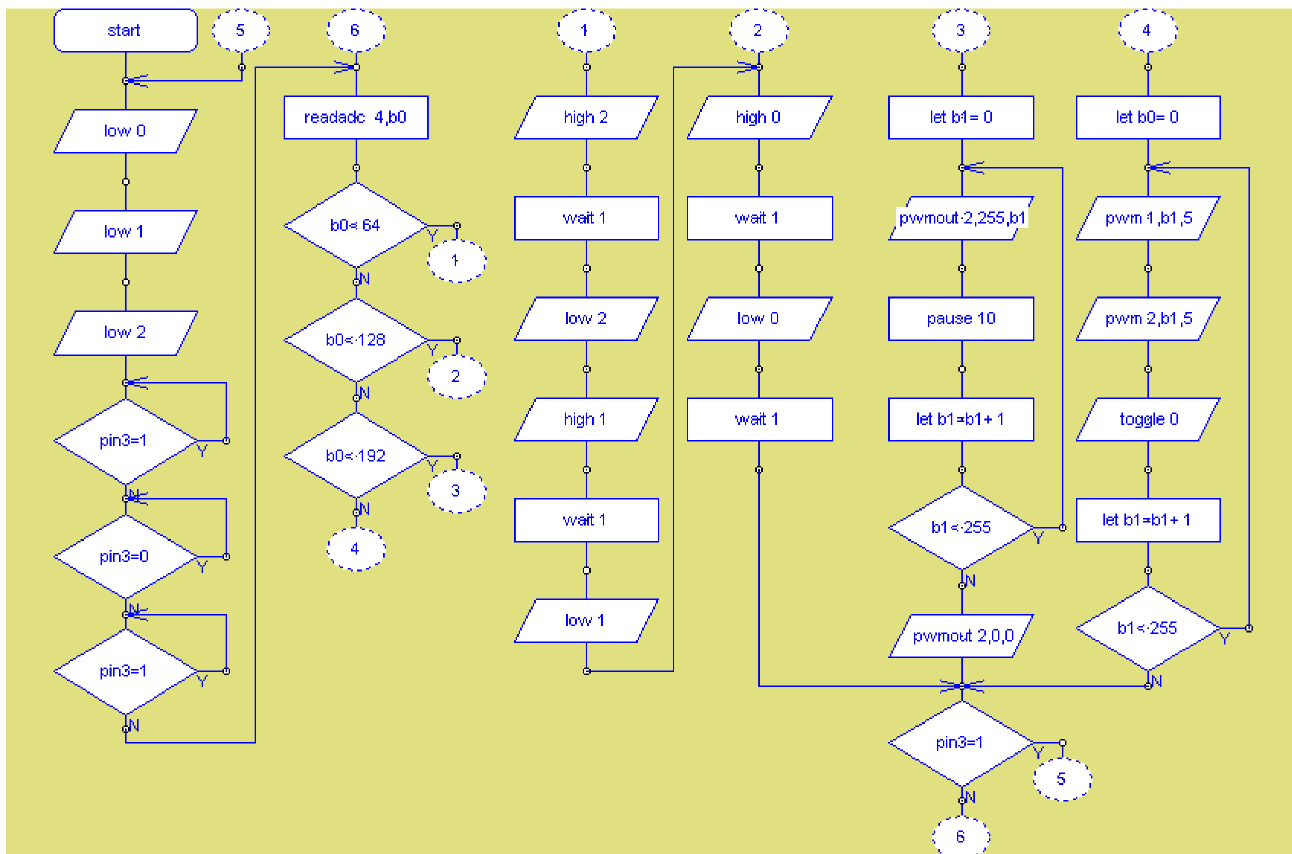
El joc de llums es compon de 3 línies de LEDs, cadascuna amb un conjunt de LEDs connectats en paral·lel. Un potenciòmetre actua de selector per escollir un efecte lluminós entre un conjunt disponible (línia A s'encén progressivament, per després apagar-se de cop, seqüències de línies A-B-C amb diferents velocitats...). Un polsador permet l'encesa i l'apagada de l'aparell. Podem fer una versió millorada: Es poden afegir diferents melodies de música (vegeu proposta 1)

Placa de desenvolupament

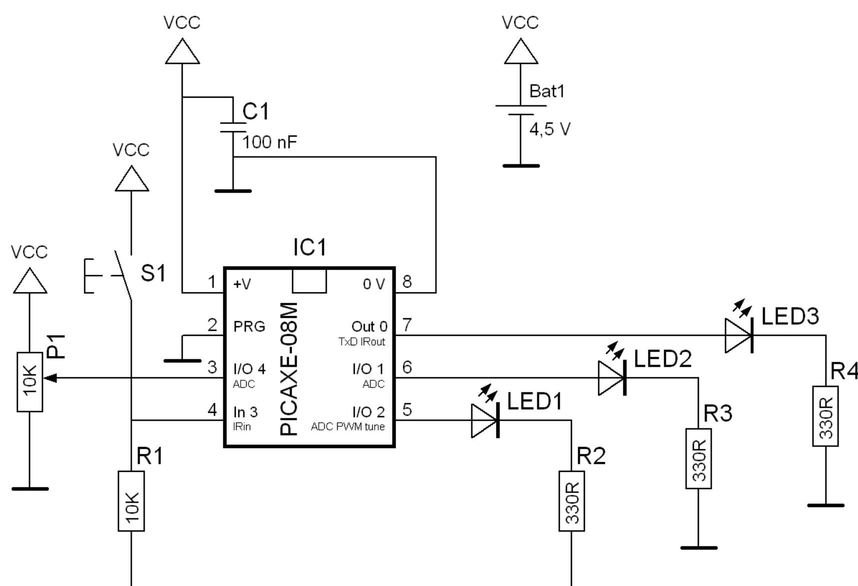
Caldrà substituir la LDR al pin4 de la placa AXE-092 per un potenciòmetre. Per tant posarem l'interruptor 4 a OFF i utilitzar el connector a la placa de prototips. Veure els detalls als dissenys de les propostes 2 i 3.

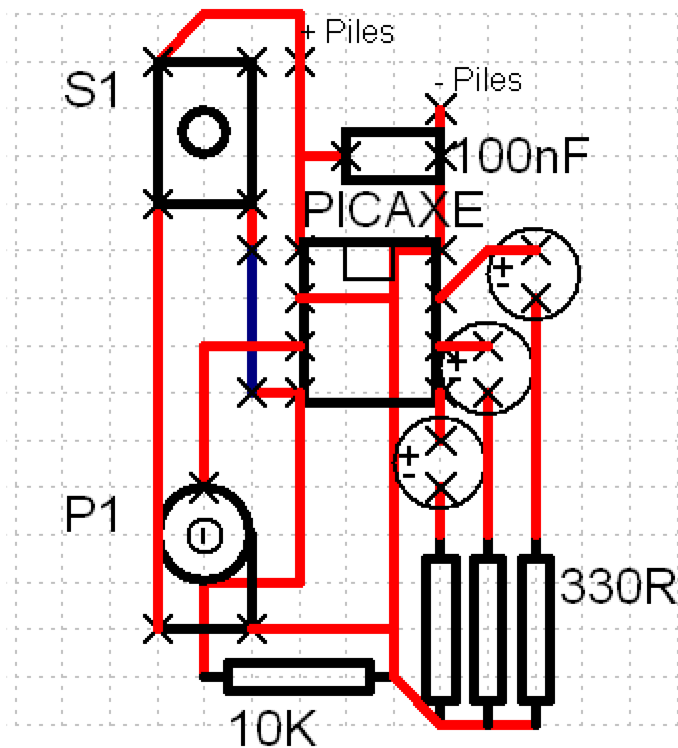


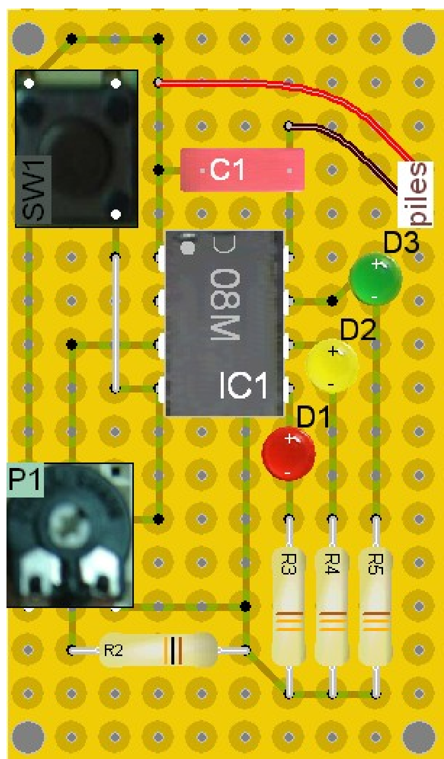
Programa

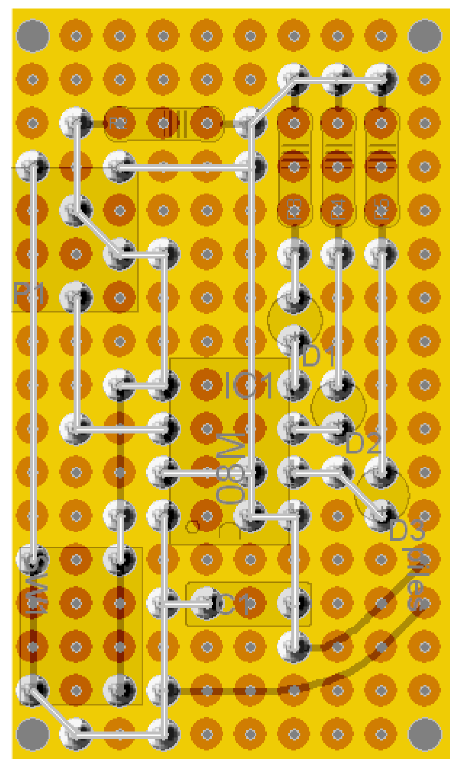


Placa de producció





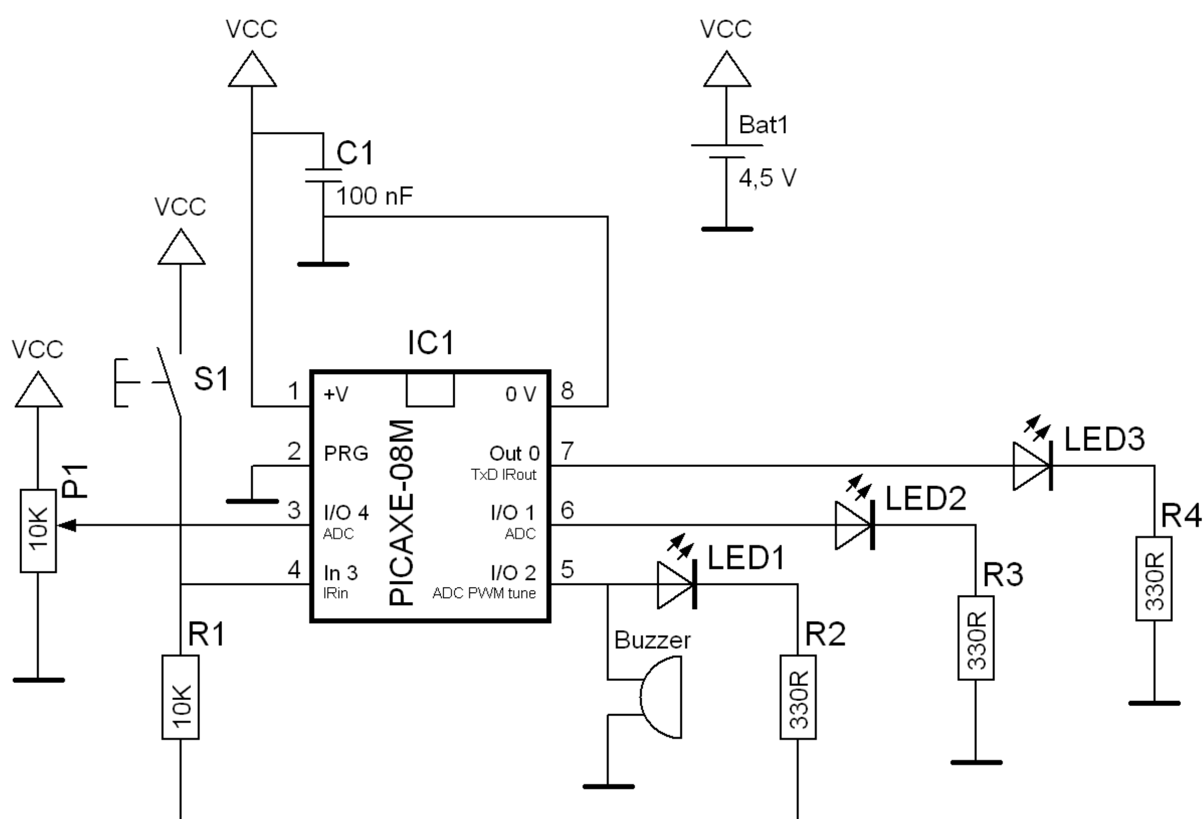




Naturalment, per fer-lo servir amb molts LEDs en paral·lel (cadascú amb la seva

resistència limitadora), caldria substituir cada parella R-LED de la placa per un connector comandat per un transistor, donada la intensitat del nombre de LEDs.

Versió millorada

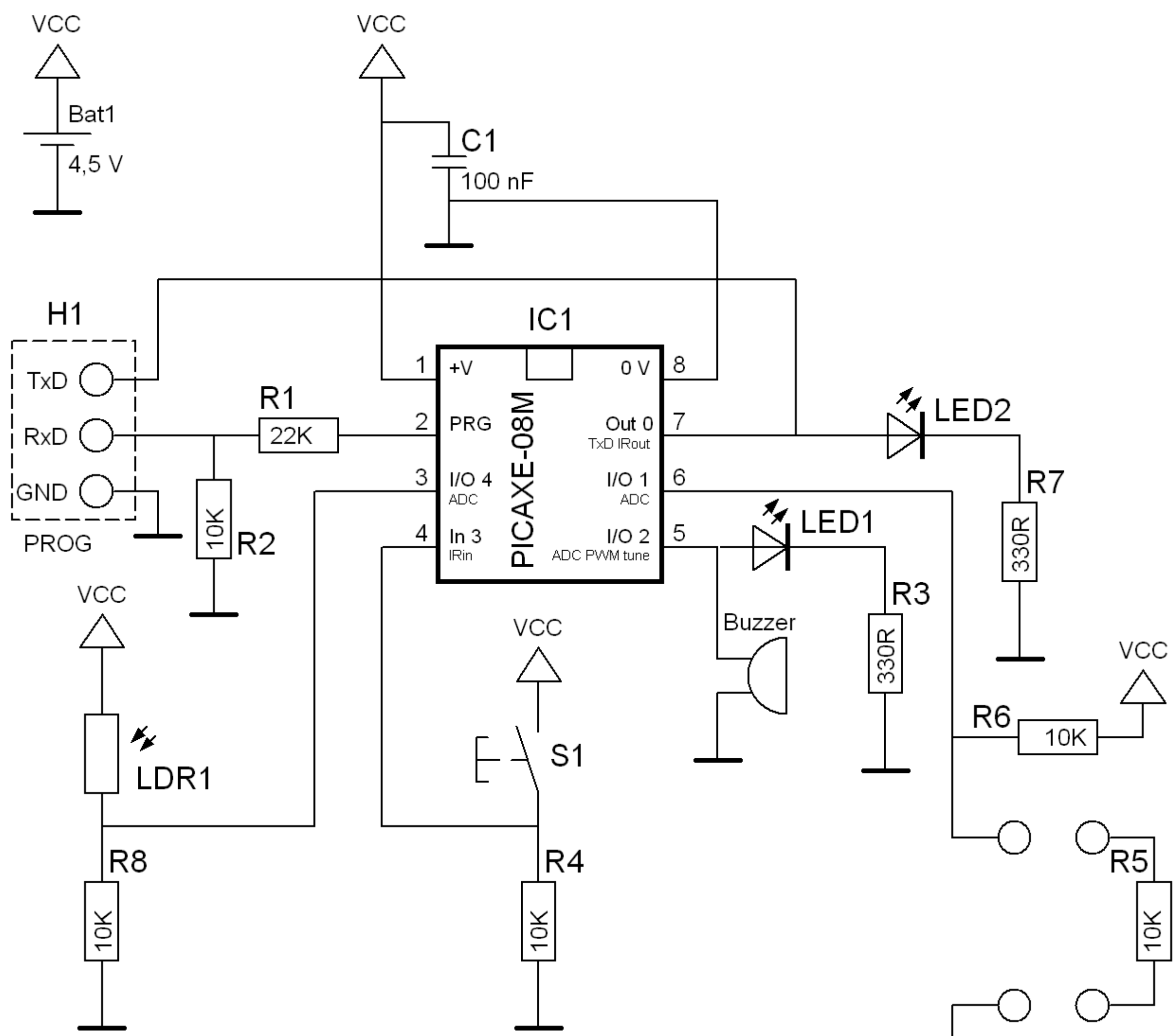


Alarma

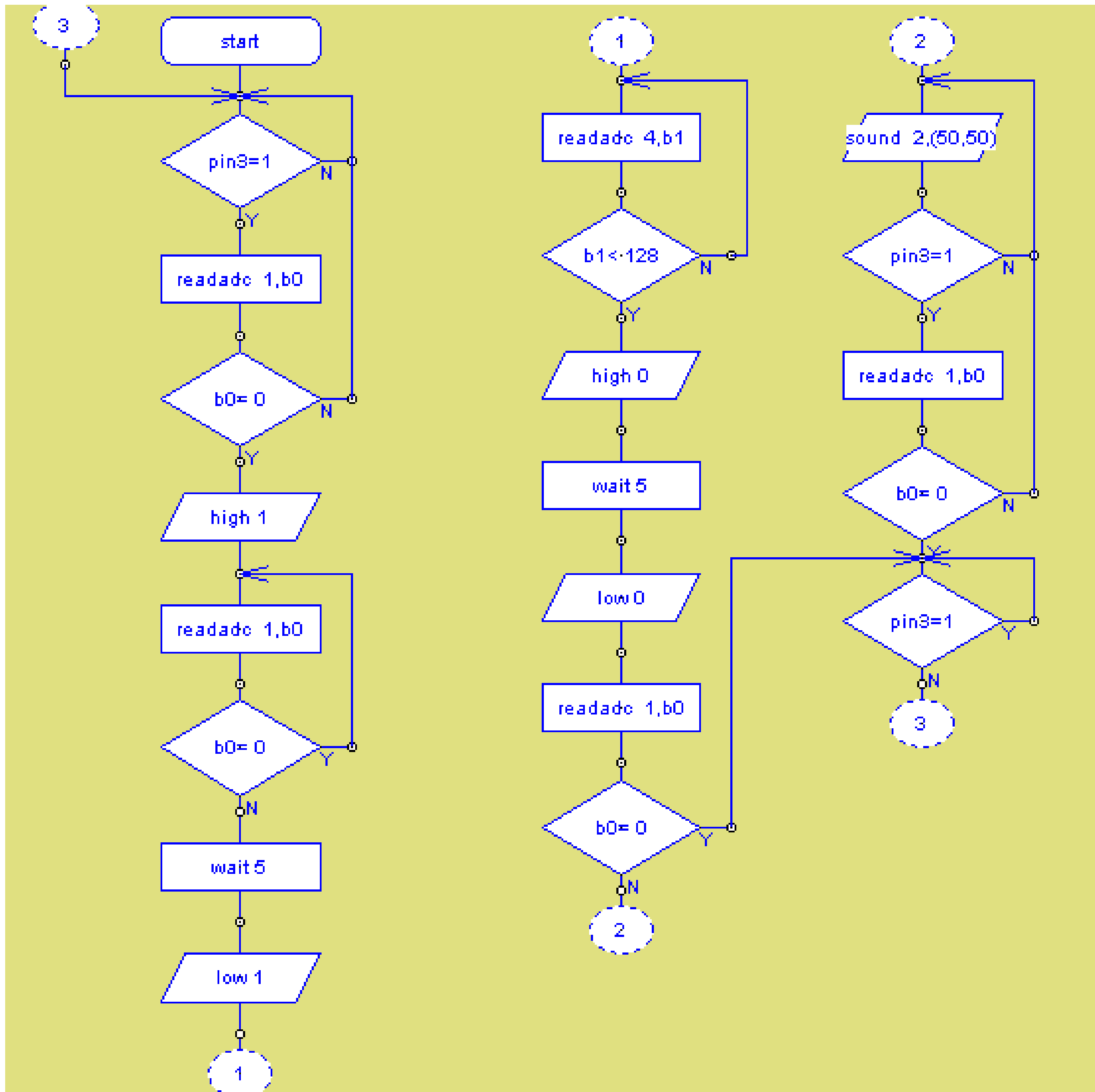
Es tracta de dissenyar l’alarma d'una botiga o habitatge. L'usuari introdueix la seva clau (es pot utilitzar un valor concret de resistència i llegir-la a l'entrada ADC) i prem un polsador per activar-la. En retirar la clau, disposa d'uns segons per tancar el llum i sortir. Si torna a introduir la clau i prem una altra vegada el polsador l'alarma es desconnecta. Si amb l'alarma connectada el sensor LDR detecta llum espera uns segons per permetre desconnectar l'alarma, si no es així posa en marxa un avisador acústic que no s'atura fins que s’introdueix de nou la

clau i i es prem el polsador. L'estat de l'alarma s'indica amb 2 LEDs.

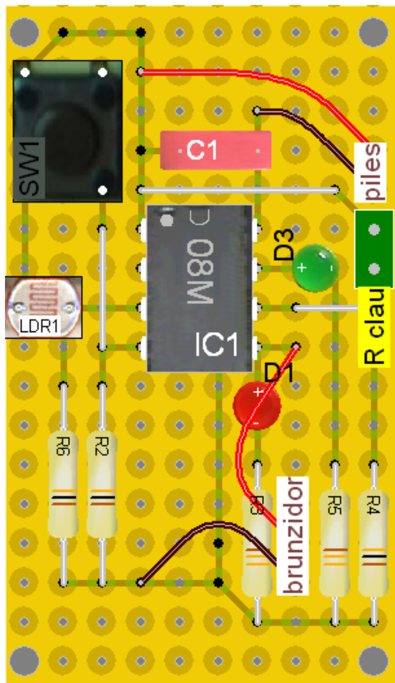
Podem aprofitar el polsador al pin3,la LDR al pin4, així com els LEDs als pins 0 i 2 i el brunzidor associat a aquest darrer pin. Però necessitarem una altra entrada analògica per llegir la resistència que fa de clau: podem substituir el LED al pin1 de la placa AXE-092 per un divisió de tensió a la placa de prototips. Per tant posarem l'interruptor 1 a OFF i la resta a ON.

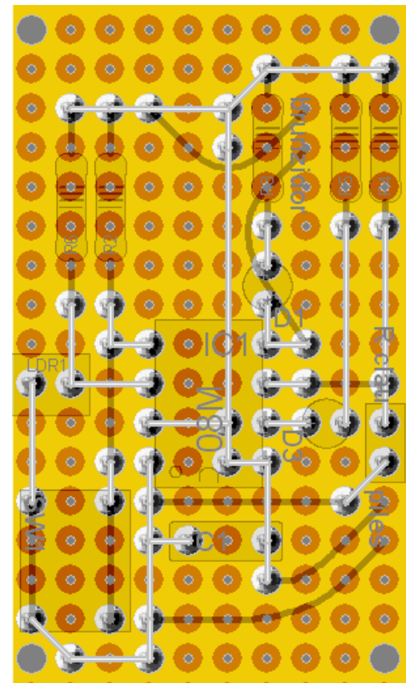


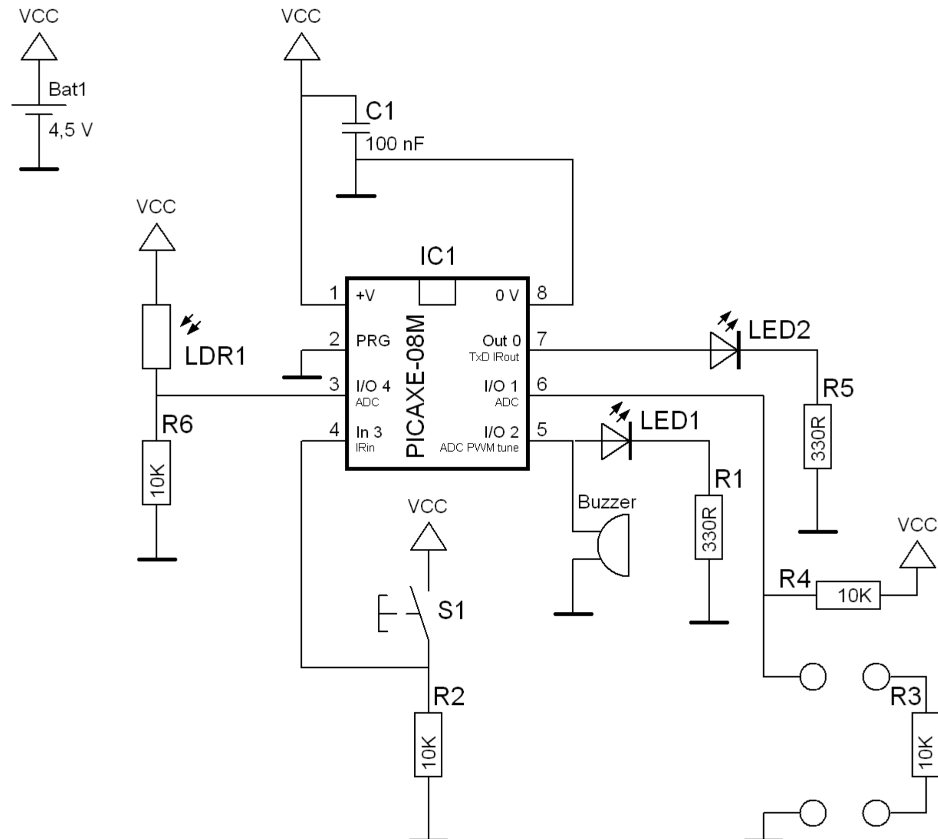
Programa


3
start
pin3=1
N
Y
readadc 1,b0
b0= 0
N
Y
high 1
readadc 1,b0
b0= 0
Y
N
wait 5
low 1
1
1
readadc 4,b1
b1<-128
N
Y
high 0
wait 5
low 0
readadc 1,b0
b0= 0
Y
N
2
2
sound 2,(50,50)
pin3=1
N
Y
readadc 1,b0
b0= 0
N
pin3=1
Y
N
3

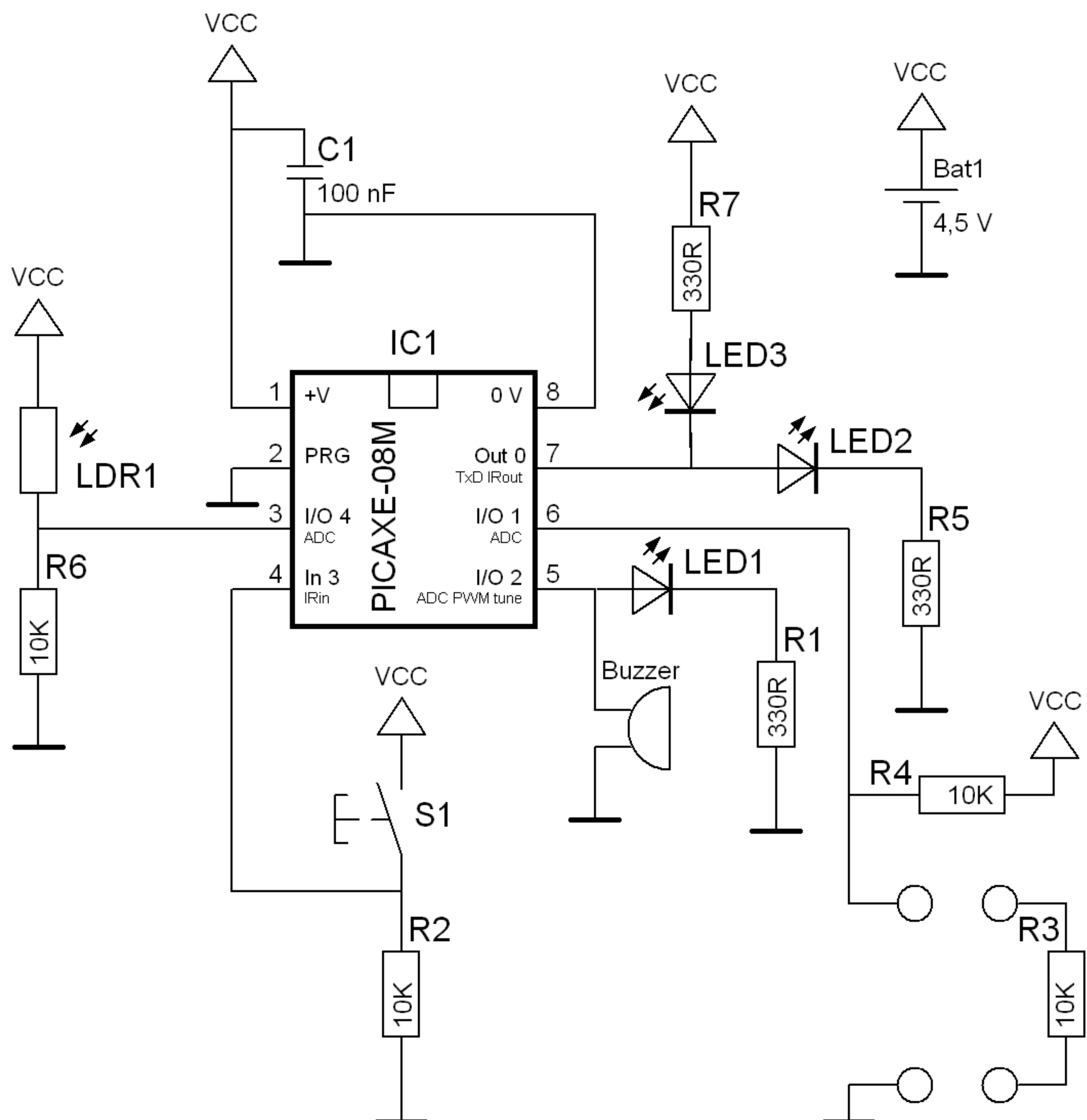
Placa de producció







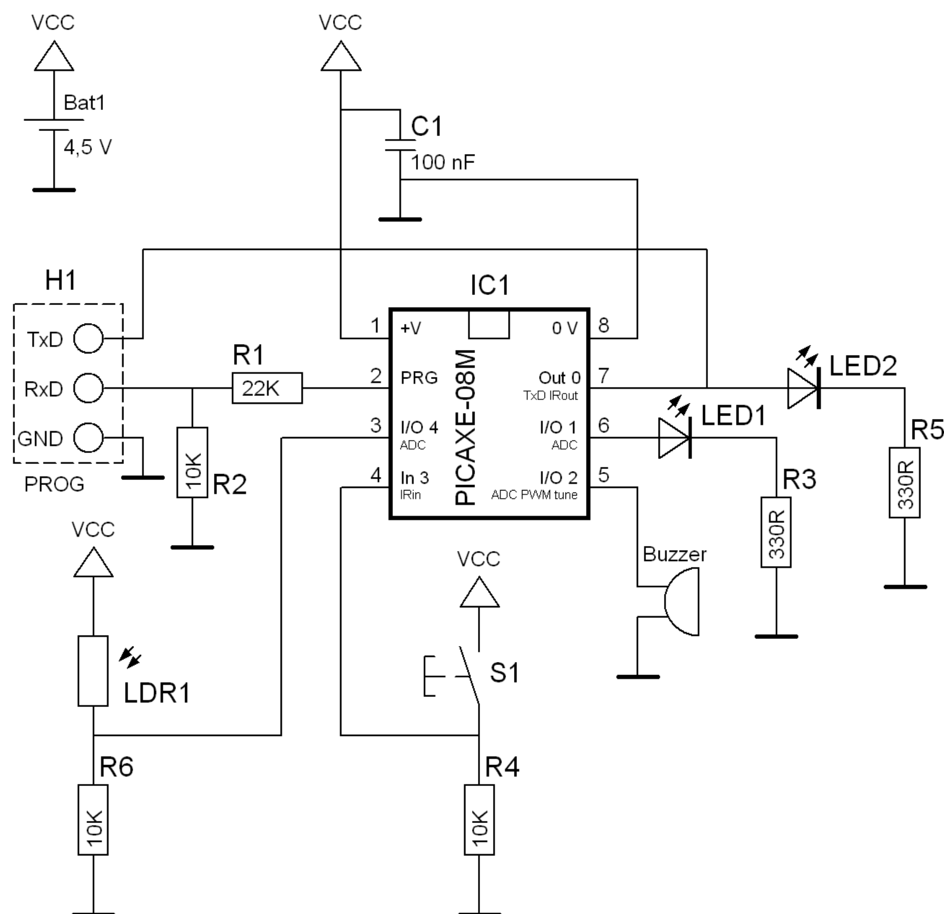
Es pot afegir un 3r LED amb funcionament invers al connectat al pin0:



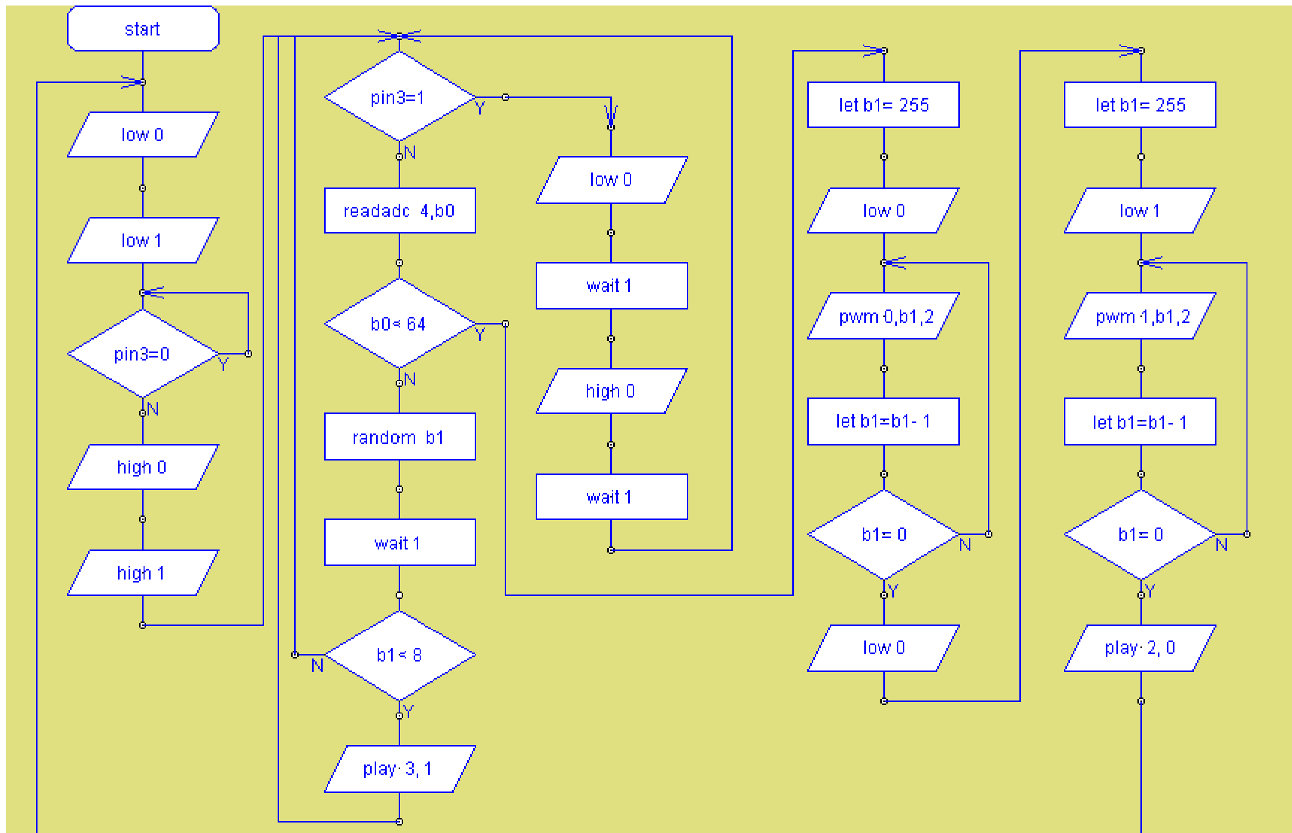
Mascota electrònica

Seguint la documentació que ja vam utilitzar, axe101_es.pdf, cal dissenyar una mascota electrònica. Cal utilitzar les possibilitats del PICAXE-08M: ordres de so (veure proposta 1) ..., així com la disposició dels components de la placa AXE092 (la nostra LDR està connectada al pin4, ...)

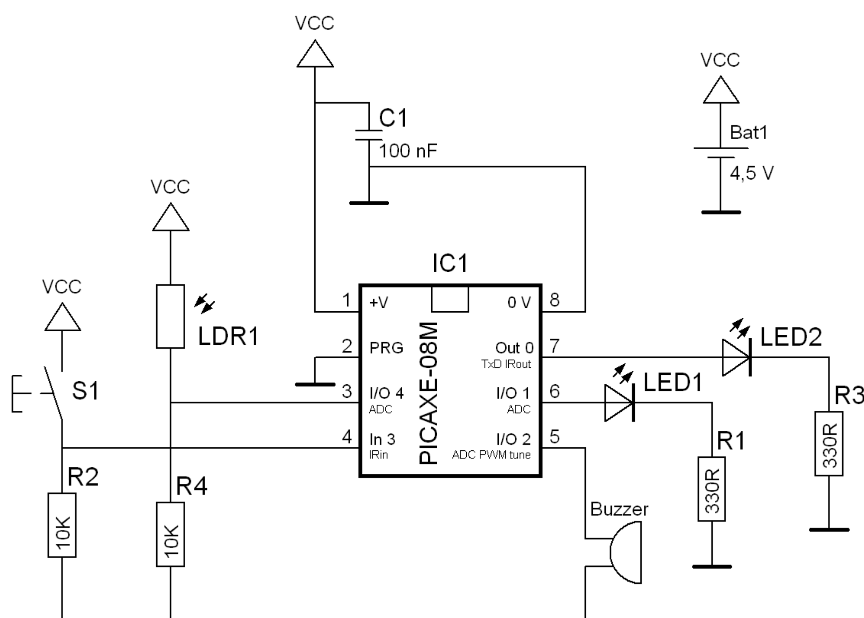
Podem utilitzar la placa AXE-092 amb tots els interruptors a ON: únicament ens sobrarà el LED associat al brunzidor al pin2. Si utilitzem programes de la documentació de la mascota, pensem que els pins 1 i 4 s'han d'intercanviar al codi.

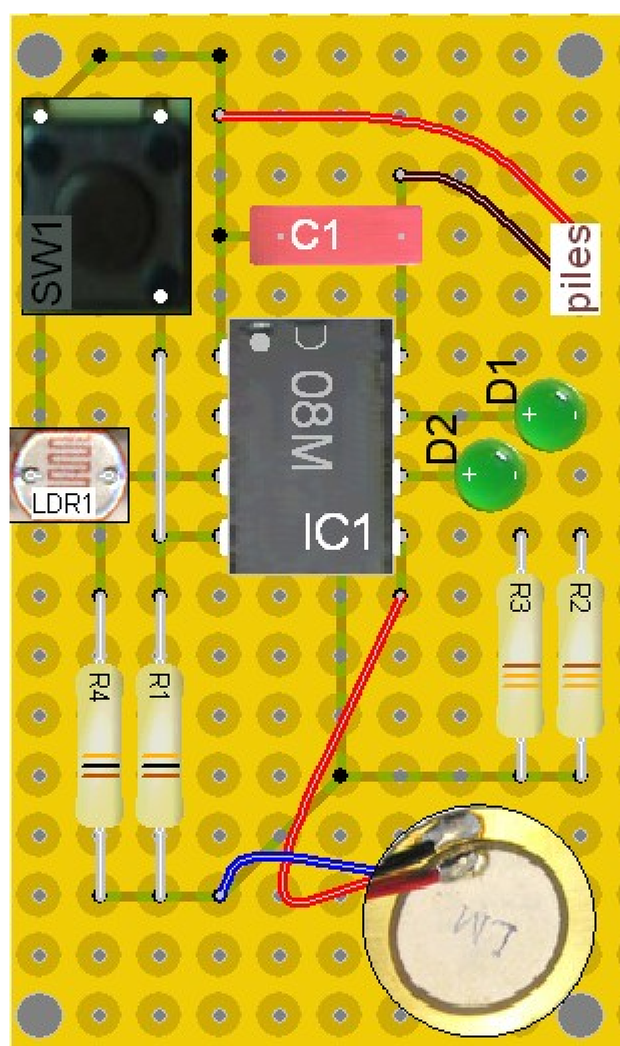


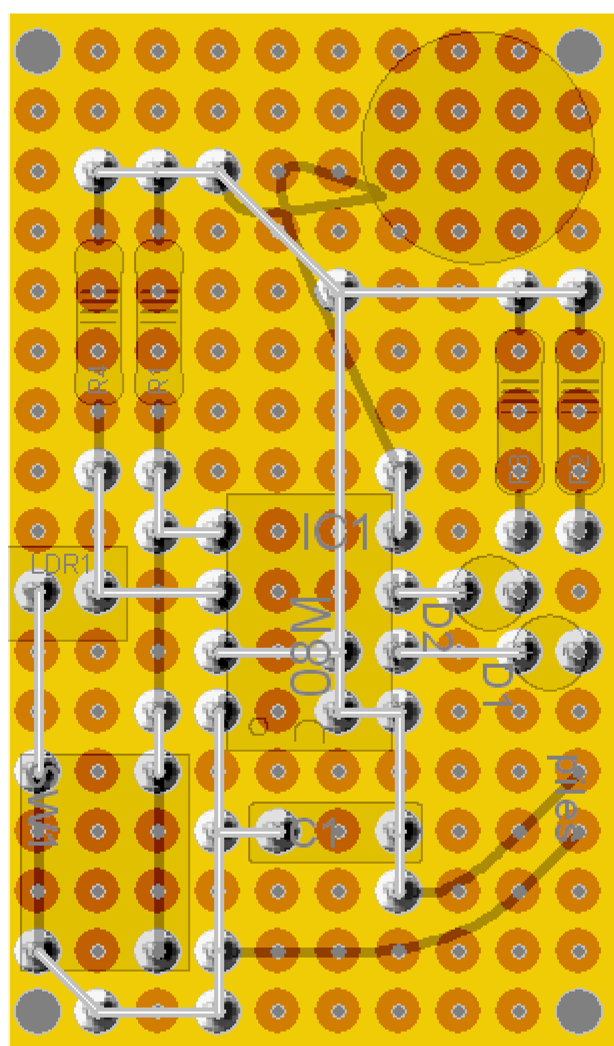
Programa



Placa de producció




SW1
C1
piles
08M
IC1
D1
D2
LDR1
R4
R1
R3
R2


LDR1
IC1
08M
D2
D1
C1
piles

XXI. El microcontrolador PICAXE-14M

Aquest xip és una ampliació del PICAXE-08M. Amb 14 potes, disposem de 5 entrades (banda esquerra) i 6 sortides (banda dreta).

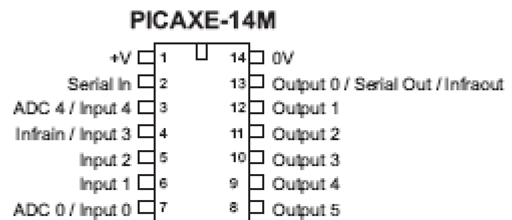


Figura 82: Pinout del PICAXE-14M

Aquesta disposició facilita el seu ús amb els alumnes, però podem modificar aquesta assignació d'entrades i sortides, especialment si necessitem més entrades analògiques, ja que amb aquesta disposició per defecte només comptem amb dues entrades (ADC0, ADC4) de les cinc possibles.

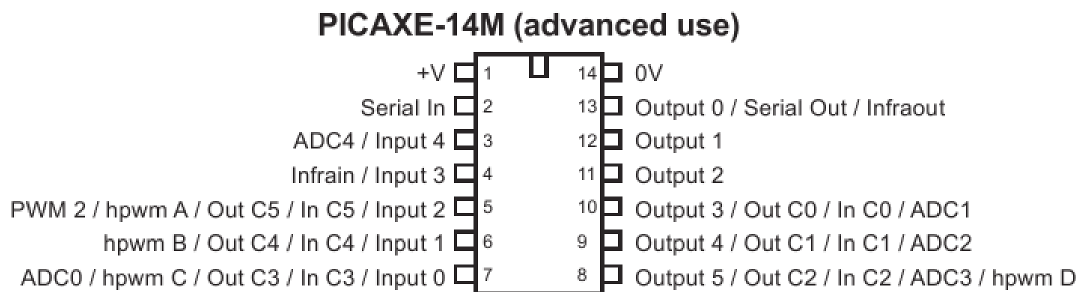


Figura 83: Pinout del PICAXE-14M (avançat)

La variable dirsc configura amb els seus bits (1 -> sortida, 0 -> entrada) la funció dels pins C. Per exemple

```
let dirsc = %00111000
```

configura C5, C4 i C3 com a sortides i C2, C1, C0 com a entrades (funció inversa de la normal).

Podem donar un valor 1 a la sortida C3 amb l'ordre

```
high portc 3
```

o llegir l'entrada C0 amb

```
if portc pin0 = 1 then salta
```

Per a utilitzar les entrades analògiques ADC1, ADC2, ADC3 primer hem de configurar aquests pins com a entrades.

Quan configurem sortides per defecte com a entrades, és necessari posar en sèrie amb el pin una resistència de 1kΩ, per evitar problemes des de que s'engega el xip fins que s'executa l'ordre de configuració.

Trobareu més informació sobre aquestes configuracions a l'apèndix C del document PICAXE Manual 1 Getting Started

La placa de projectes AXE117 porta un sòcol per a un PICAXE-14M, a més a més de la interfície de programació i d'un xip de transistors Darlington ULN2003A. La placa AXE117 no ve soldada ni porta el xip PICAXE-14M, però si el xip ULN2003A.

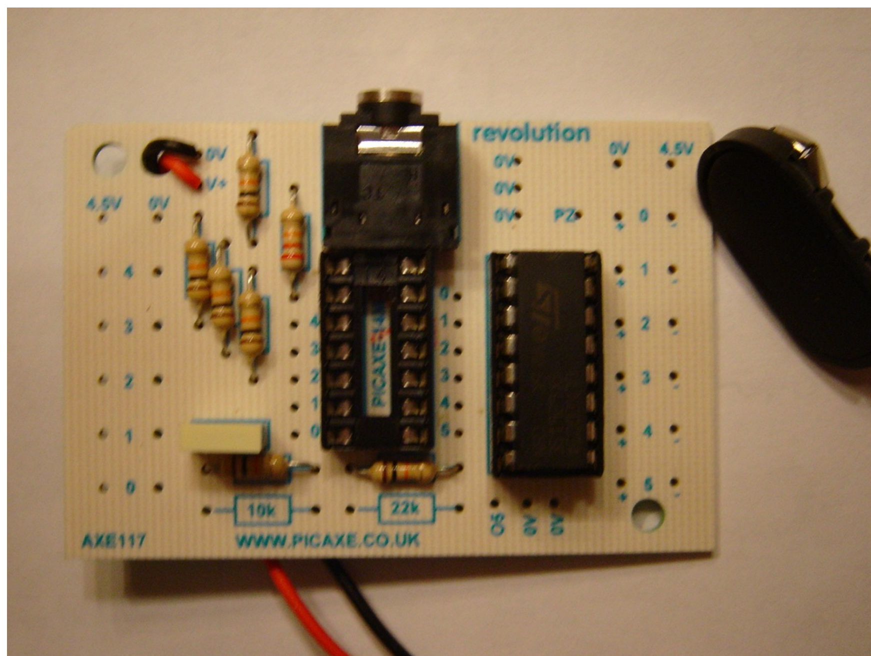


Figura 84: Placa AXE117

El microcontrolador PICAXE-18X

Aquest xip és una mica més antic que els PICAXE-08M i PICAXE-14M, per la qual cosa les instruccions del intèrpret BASIC a la seva ROM no són tant potents. No tenim sentències de música millorada (play, tune) ni modulació d'amplada de pulsos (PWM) en background, així com tampoc la possibilitat d'emetre codis infrarojos, però si de rebre'ls. Però moltes de les aplicacions del fabricant s'han desenvolupat al voltant d'aquest xip: robots, controls ... Per això ocupa un lloc protagonista en aquest llibre.

Amb 18 potes el PICAXE-18X ens ofereix 8 sortides i 5 entrades, dos d'elles capaces de llegir valors analògics. Permet llegir teclats d'ordinador PC (tipus AT, no USB) i treballar amb la interfície I2C, de forma que li podem connectar rellotges en temps reals (RTC), memòries RAM i EEPROM, teclats i displays LCD ...

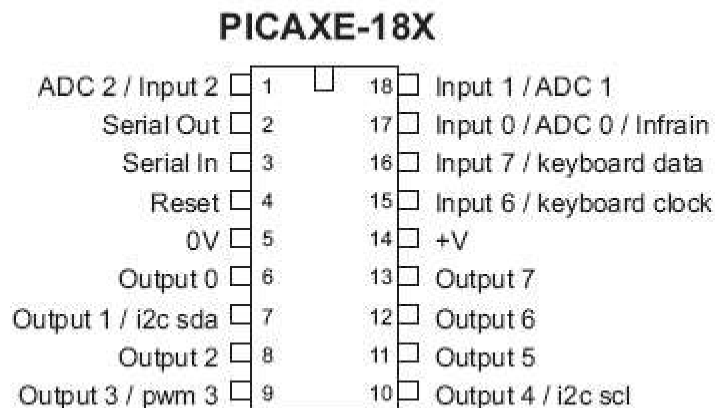


Figura 85: Pinout del PICAXE-18X

XXII. El microrobot AXE120

Es tracta d'un robot molt econòmic, que utilitza un PICAXE-18. Inclou el xassís amb dos portapiles incorporats (total 4 piles alcalines AA de 1,6 V, a la placa de circuit imprès un díode redueix aquest voltatge al voltant del 5 V), dos motors amb els seus reductors i rodes i una placa de circuit imprès soldada i que inclou el PICAXE-18. Podem afegir diferents mòduls, com ara el sensor d'ultrasons, el seguidor de línies o el sistema de comandament amb infrarojos, que permeten fàcilment reproduir sistemes ben coneguts i posar-los a l'abast del nostres alumnes, utilitzant un entorn de programació al que ja estan acostumats.

És molt recomanable substituir el PICAXE-18 original per un PICAXE-18X. Necessari si volem utilitzar el receptor de comandaments infrarojos, funció que no suporta el PICAXE-18 original. Però, a més a més, guanyarem en capacitat de programa i d'altes instruccions disponibles al PICAXE-18X.

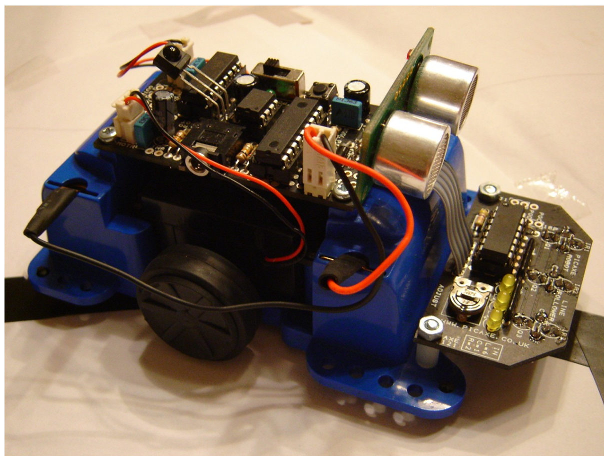


Figura 86: Microrobot AXE120

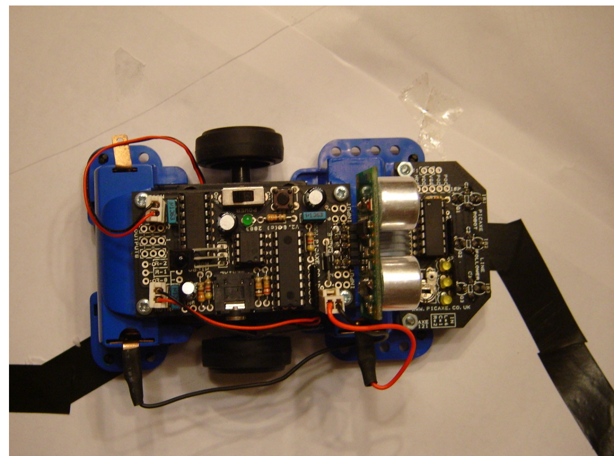
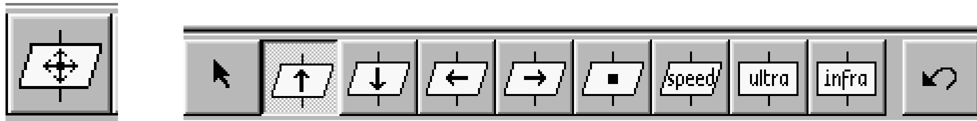


Figura 87: Microrobot seguint una línia

És d'agrair l'apartat de l'editor de diagrames de flux dedicat a aquest robot, que simplifica molt la seva programació:



forward	Marxar endavant
back	Marxar enrere
left	Girar a l'esquerra
right	Girar a la dreta
halt	Atura la marxa
speed 128, 128	Fixar la velocitat (esquerra, dret). Posant valors diferents podem compensar diferències mecàniques dels motors, o generar girs suaus.
ultra b0	Desar a b0 la distància en cm al següent obstacle
infra b0	Esperar un codi de comandament d'infrarojos i desar-lo al registre b0.

Les sortides 4, 5, 6 i 7 estan ocupades pel control de motors, que utilitza un PIC preprogramat i que utilitza una interfície molt específica que permet mantenir el moviment amb velocitat controlada per a cada motor mentre el PICAXE-18 queda lliure per a altres tasques.

Les sortides 1, 2 i 3 queden lliures per connectar LEDs, brunzidors o altres actuadors per part de l'usuari.

Si utilitzem els mòduls recomanats, les altres entrades i sortides queden ocupades de la següent forma:

Mòdul	Out3	In0	In1	In2	In6	In7
Seguidor de línies			X	X	X	
Infraroig		X				
Ultrasònic	X					X

El sensor d'ultrasons SRF005

Aquest sensor dona al nostra robot la capacitat de detectar obstacles utilitzant

una tècnica de sonar semblant a la dels ratpenats. El mòdul ve soldat i únicament hem de soldar una tira de pins amb colze per connectar-lo a la placa del nostre robot.

Molt important: cal treure un dels pins per evitar una connexió no desitjada entre el mòdul i el robot, tal com podeu apreciar a la fotografia. Aquest pin el podem treure amb l'ajut d'unes alicates abans de soldar-lo.

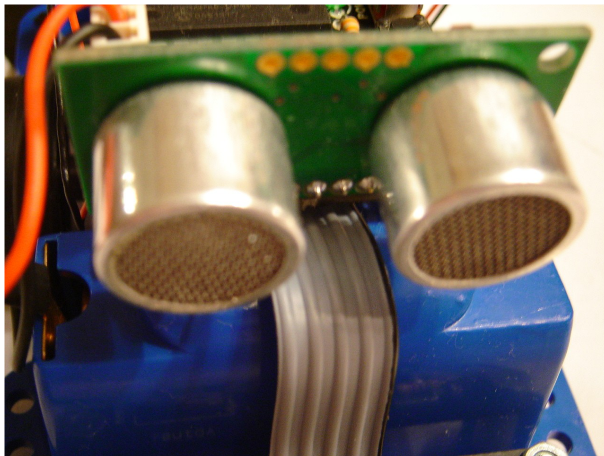


Figura 88: Sonar SRF005

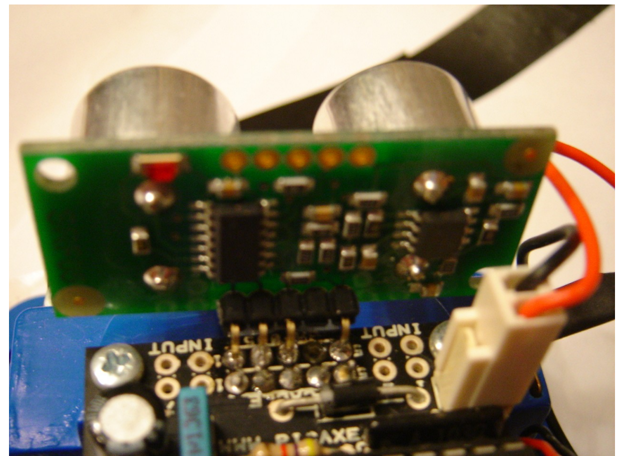


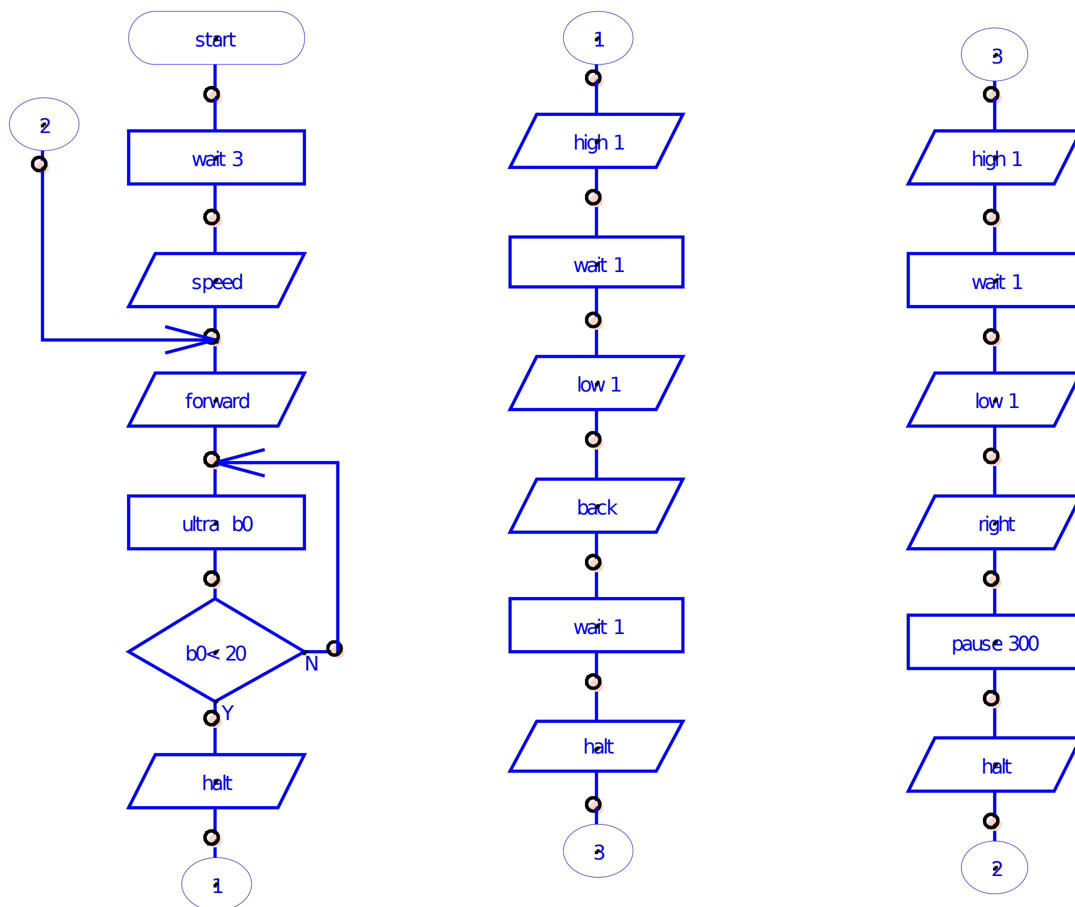
Figura 89: Connexió del SRF005 al microrobot

Per a obtenir la distància a l'obstacle més proper podem utilitzar el símbol

ultra b0

que generarà un fragment de codi BASIC que ens deixarà en aquest cas al registre b0 la distància en cm a l'obstacle més proper. Penseu que aquest fragment de codi BASIC utilitza el registre w6 (b13 i b12) de forma interna, per la qual cosa no heu de desar variables vostres a aquests registres.

Veiem un exemple de programa en diagrama de flux que posa en marxa el robot i que és deté, va enrere, gira i torna a avançar quan detecta un obstacle a menys de 20 cm.



A continuació mostrem la traducció a BASIC del mateix programa. Fixeu-vos en el codi generat a partir del símbol ultra, entre les etiquetes label_14 i ultra_0:

```
' Robot guiat per ultrasons

'BASIC converted from flowchart:
'I:\ROBOTSONAR.CAD
'Converted on 17/08/07 at 10:21:18


          pause 100   'startup delay
main:
          wait 3
          'microrobot speed
          let pins = %00000000
          pause 10
          let pins = %00110000
          pulsout 6, $80
          pause 10
          let pins = %11000000
          pulsout 4, $80
```

```
                pause 10
                let pins = %00000000

label_D:        let pins = 160      'forward
label_14:       'ultrasonic sounder (range 0-255 cm)
                pulsout 3, 2
                pulsin 7, 1, w6
                pause 10
                let w6 = w6 * 10 / 58
                let  b0 = b12
                if b13 = 0 then ultra_0
                let  b0  = 255
ultra_0:

                if b0< 20 then label_27
                goto label_14

label_27:       let pins = 0 'halt

                high 1
                wait 1
                low 1
                let pins = 80       'back
                wait 1
                let pins = 0 'halt

                high 1
                wait 1
                low 1
                let pins = 96       'right
                pause 300
                let pins = 0 'halt

                goto label_D
```

El seguidor de línies AXE121

Es tracta d'un mòdul que permet al nostre robot seguir un recorregut marcat per una línia de color negre sobre un fons blanc (sniffer). Disposem de tres sensors (pin1, pin2, pin6) que ens informen si el robot es troba en posició o centrat (pin1

= 1), desviat cap a l'esquerra (pin2 = 1) o desviat cap a la dreta (pin6 = 1).

Malauradament aquest mòdul el subministren en forma de kit amb tots els components, que haurem de soldar nosaltres.

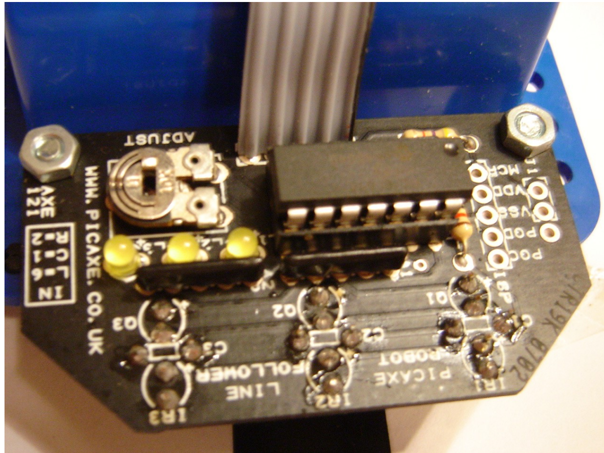


Figura 90: Seguidor de línies AXE121

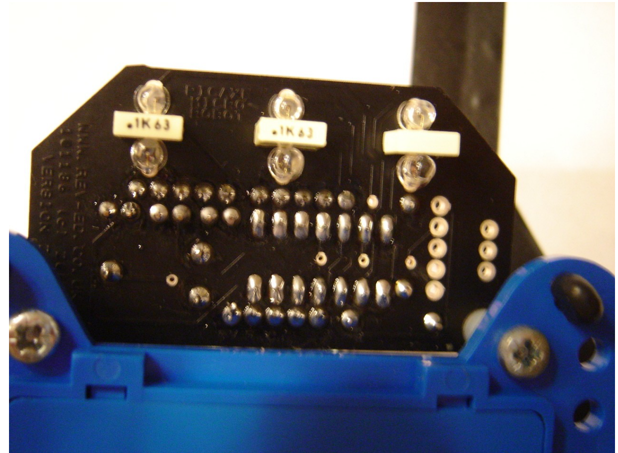
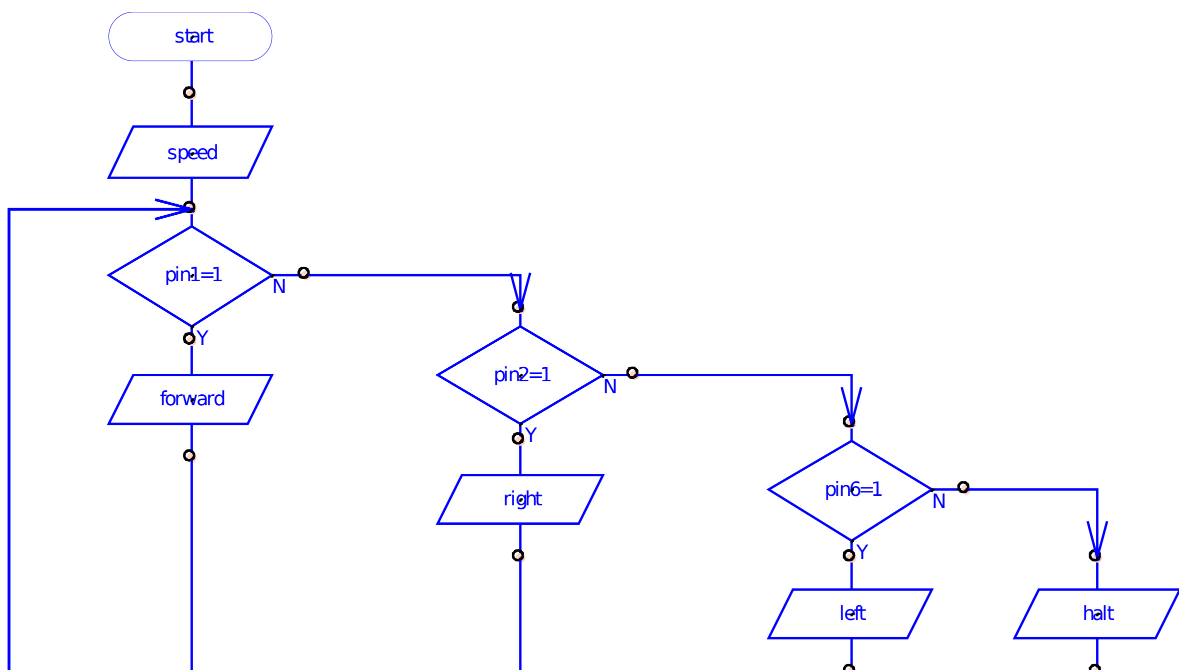


Figura 91: Els condensadors eviten la llum infraroja directe

Veiem un senzill programa que segueix un recorregut, corregint les desviacions trobades. Quan no detecta la línia blanca a cap dels seus sensors el robot s'atura.



A continuació mostrem la traducció a codi BASIC del mateix programa:

```
' Robot guiat per línies al terra

'BASIC converted from flowchart:
'I:\ROBOTSNIFFER.CAD
'Converted on 17/08/07 at 10:25:33


            pause 100   'startup delay
main:
            'microrobot speed
            let pins = %00000000
            pause 10
            let pins = %00110000
            pulsout 6, $FF
            pause 10
            let pins = %11000000
            pulsout 4, $80
            pause 10
            let pins = %00000000

label_D:    if pin1=1 then label_2E
            if pin2=1 then label_35
            if pin6=1 then label_3C
            let pins = 0 'halt
            goto label_D

label_2E:   let pins = 160    'forward
            goto label_D

label_35:   let pins = 96     'right
            goto label_D

label_3C:   let pins = 144    'left
            goto label_D
```

El kit de comandament infraroig AXE040

Aquest kit inclou un sensor de codis SIRC TSOP4838 i un condensador de 4,7 µF que haurem de soldar a la placa del nostre robot, així com un comandament universal infraroig que haurem de configurar per televisors de la marca Sony (codis SIRC). Naturalment, podem aconseguir aquests components o equivalents pel nostre compte. Cal tenir en compte que el sensor de codis infrarojos ha de tenir centrada la seva eficàcia en portadores de 38 kHz.

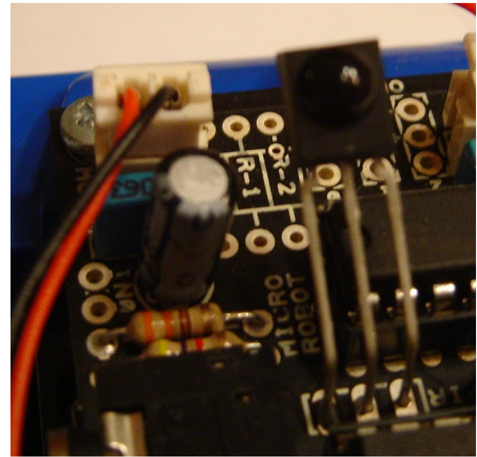
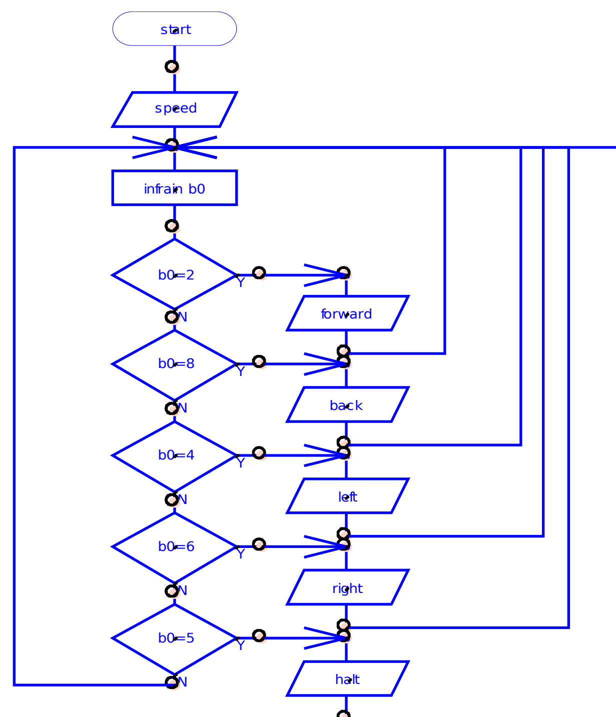


Figura 92: Connexió del TSOP4838 al microrobot

La utilització d'aquest kit és un dels motius de canviar el PICAXE-18 original que porta el robot per un PICAXE-18X, ja que el primer no porta a la seva ROM implementada la instrucció infrain al seu intèrpret BASIC. També podríem fer servir el PICAXE-18A que incorpora aquesta ordre, però per la diferència de preu paga la pena utilitzar el PICAXE-18X, que ens reporta moltes més avantatges.



Com a mostra us oferim un programa que permet comandar a distància el nostre robot, amb la seva traducció a BASIC.

```
' Robot amb comandament remot

'BASIC converted from flowchart:
'I:\ROBOTSIRC.CAD
'Converted on 17/08/07 at 10:29:08


            pause 100   'startup delay
main:
            'microrobot speed
            let pins = %00000000
            pause 10
            let pins = %00110000
            pulsout 6, $80
            pause 10
            let pins = %11000000
            pulsout 4, $80
            pause 10
            let pins = %00000000

label_D:    infrain
            let b0 = infra
            if b0= 2 then label_14
            if b0= 8 then label_1B
            if b0= 4 then label_22
            if b0= 6 then label_29
            if b0= 5 then label_30
            goto label_D

label_14:   let pins = 160     'forward
            goto label_D

label_1B:   let pins = 80      'back
            goto label_D

label_22:   let pins = 144     'left
            goto label_D

label_29:   let pins = 96      'right
            goto label_D

label_30:   let pins = 0 'halt
            goto label_D
```

Les sortides d'usuari

A la placa del robot tenim lloc per connectar uns LEDs amb les seves resistències limitadores a les sortides lliures (pin1, pin2, pin3), o bé connectar qualsevol altre actuador (com ara un brunzidor) mitjançant uns cables.

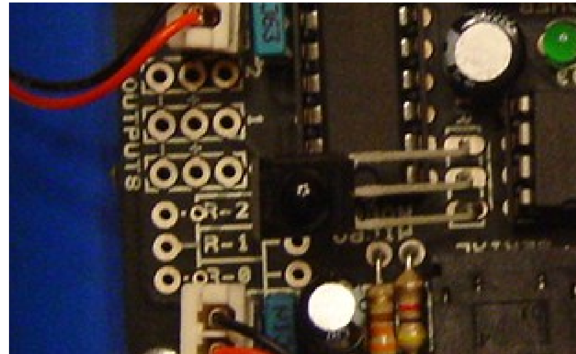


Figura 93: Sortides lliures del microrobot

El kit de sensors de col·lisió

Es tracta d'un kit que inclou dos detectors de fi de cursa, uns separadors i caragols per fixar-los a la part davantera i uns cables per connectar-los.

El problema és que amb els mòduls recomanats no ens queda cap entrada lliure per detectar la seva activació. Hauríem de renunciar a algun d'ells, o bé multiplexar les entrades disponibles i seleccionar les que ens interessin per a cada projecte.

XXIII. La placa CHI030

Aquesta placa ve soldada amb un sòcol per a un PICAXE-18X inclou, a més de la interfície de programació, un xip L293D que permet controlar dos motors, tant en velocitat com en sentit de gir. Les connexions són a pas 5,08 mm, de manera que podem soldar regletes de connexió que ens permetran connectar fàcilment aquesta placa als sensors i actuadors dels nostres projectes.

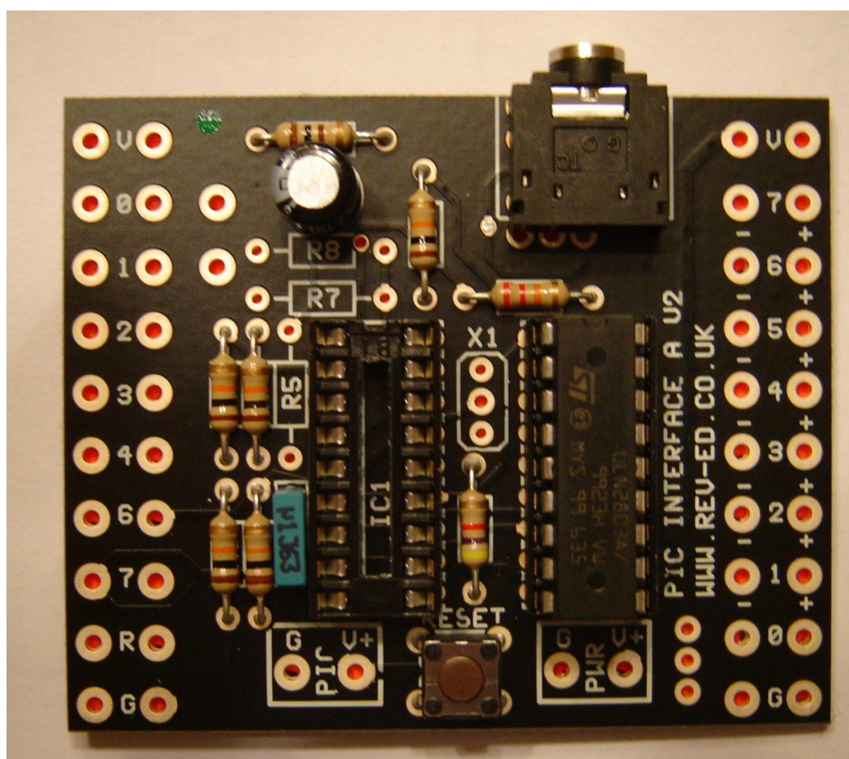


Figura 94: Placa CHI030

XXIV. La placa CHI035

Molt semblant a la CHI030, i que també utilitza el PICAXE-18X, aquesta placa afegeix al xip L293D quatre transistors MOSFET per les altres 4 sortides, de forma que podem controlar 2 motors en velocitat i direcció i altres 4 càrregues amb intensitats importants, fins i tot de l'ordre d'uns quants Amperes.

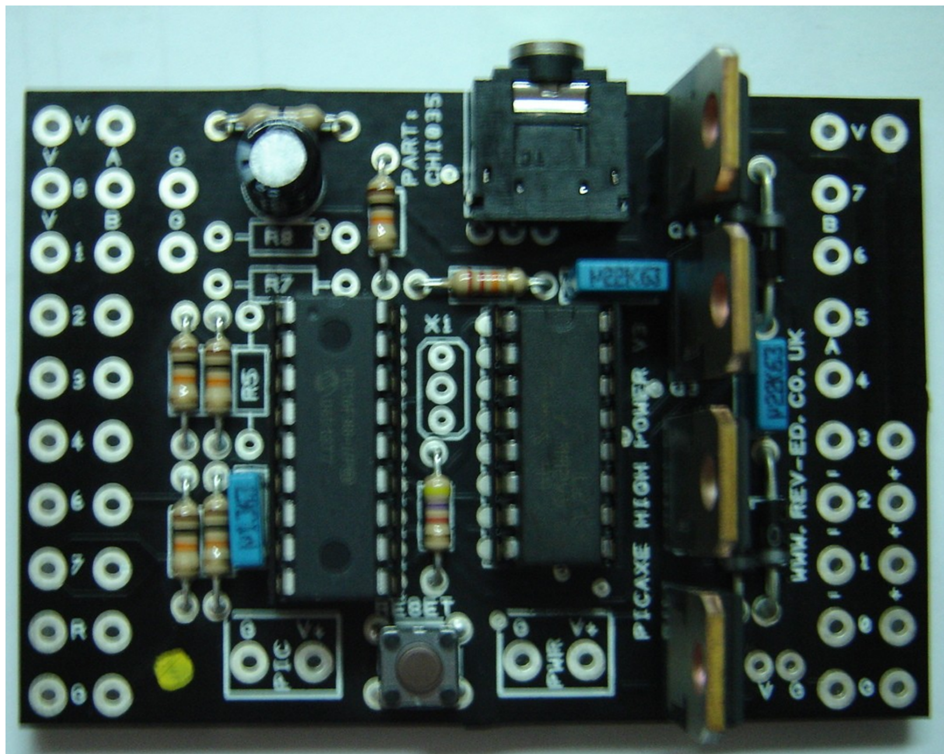
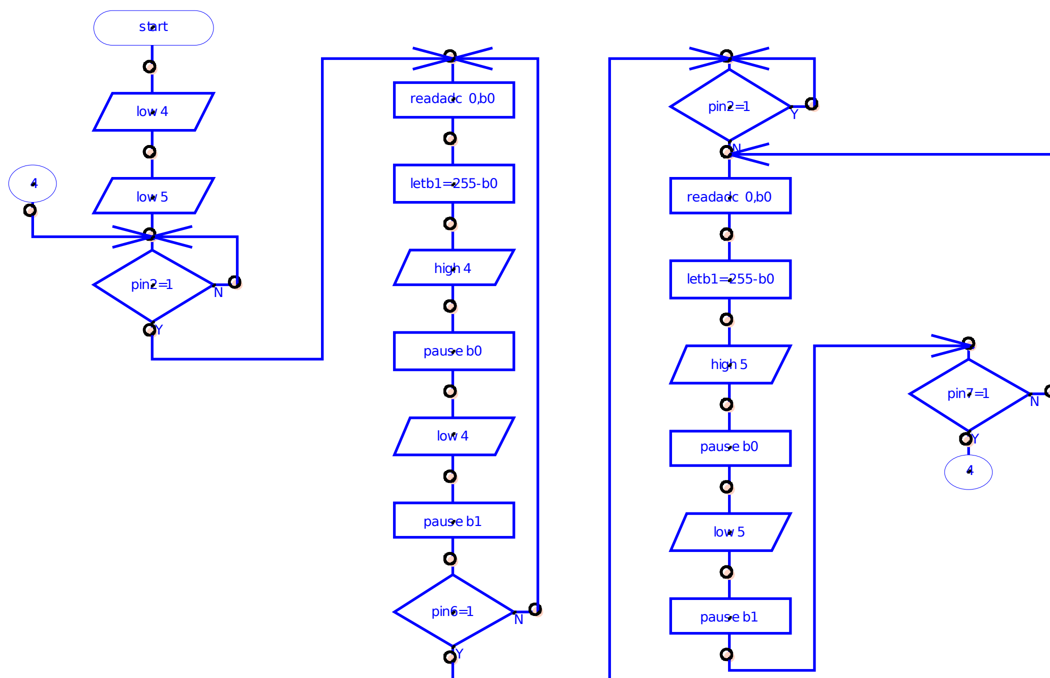


Figura 95: Placa CHI035

Com a exemple us mostrem un programa que controla un tendal segons la llum que rep una LDR. La velocitat del motor es varia amb PWM i es determina pel valor de consigna d'un potenciòmetre.

```
' Tendal controlat per llum

'pin2=1 <=> molta llum -> obrir tendal
'pin6=1 tendal obert
'pin7=1 tendal tancat

main:
        low 4                   'atura motor
        low 5
```

```
label_1F:   if pin2=1 then label_61        'molta llum
            goto label_1F

label_61:   readadc  0,b0                  'llegeix potenciòmetre
            let b1= 255-b0
            high 4                         'obre tendal amb PWM
            pause b0                       'amplada activa
            low 4
            pause b1                       'amplada passiva
            if pin6=1 then label_3D        'tendal obert
            goto label_61

label_3D:   if pin2=1 then label_3D        'poca llum
label_7F:   readadc  0,b0                  'llegeix potenciòmetre
            let b1= 255-b0
            high 5                         'tanca tendal amb PWM
            pause b0                       'amplada activa
            low 5
            pause b1                       'amplada passiva
            if pin7=1 then label_A5        'tendal tancat
            goto label_7F

label_A5:
            goto label_1F
```



XXV. Control de maquetes

La placa CHI035 potser molt interessant per realitzar un control de maquetes al taller. És interessant utilitzar una placa de circuit imprès que faciliti la connexió d'aquesta placa amb bananes de 2 mm, com les utilitzades als operadors elèctrics de la dotació oficial de les aules de Tecnologia, així com la protecció de les seves entrades amb díodes Schottky i Zener, i la monitorització de les seves sortides.

Aquí en teniu un exemple de PCB que he dissenyat amb el programari LochMaster. Es tracta d'una placa a una sola cara, que es pot realitzar perfectament amb tècniques fotogràfiques o de fresat, a un preu ben econòmic.

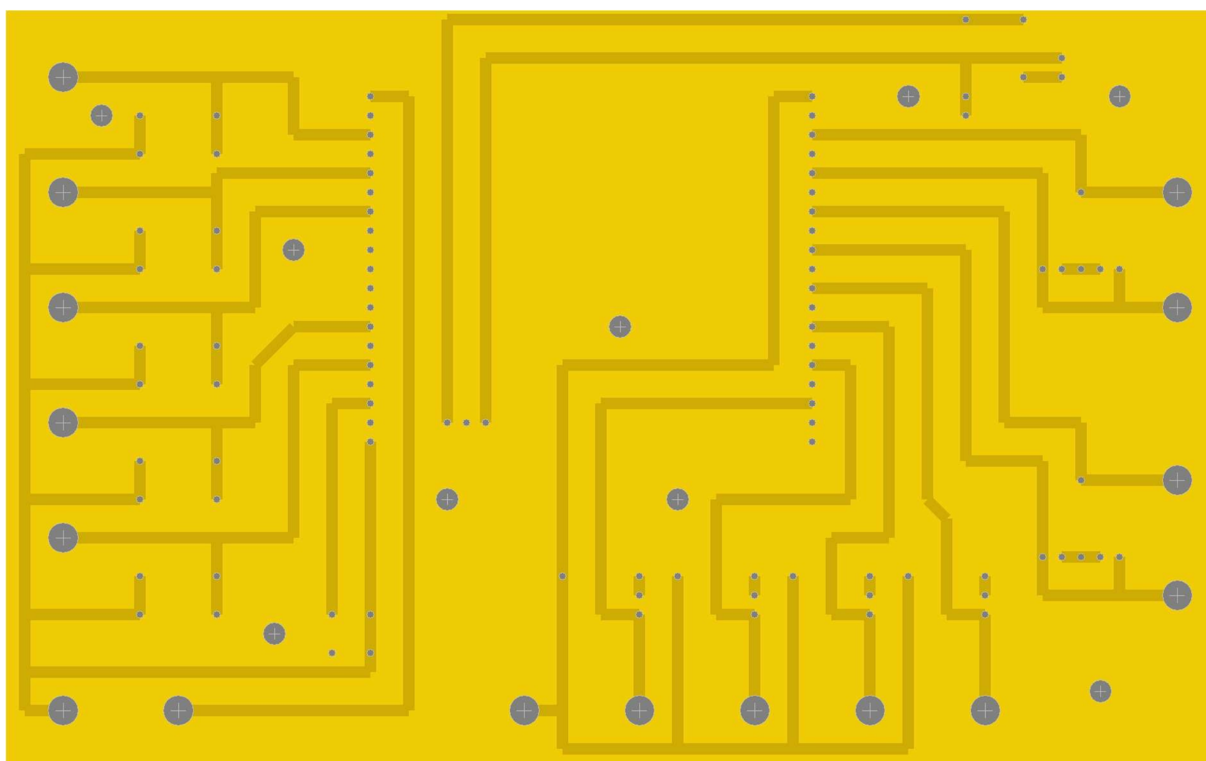


Figura 96: PCB de la placa de control de maquetes

He d'agrair a en Jordi Regalés i en Joan Busquets els seus suggeriments per a l'optimització d'aquest disseny. En ell hem protegit la placa CHI035 amb una tapa de metacrilat, que permet la seva visualització. Aquí teniu la placa una vegada muntada i retolada:

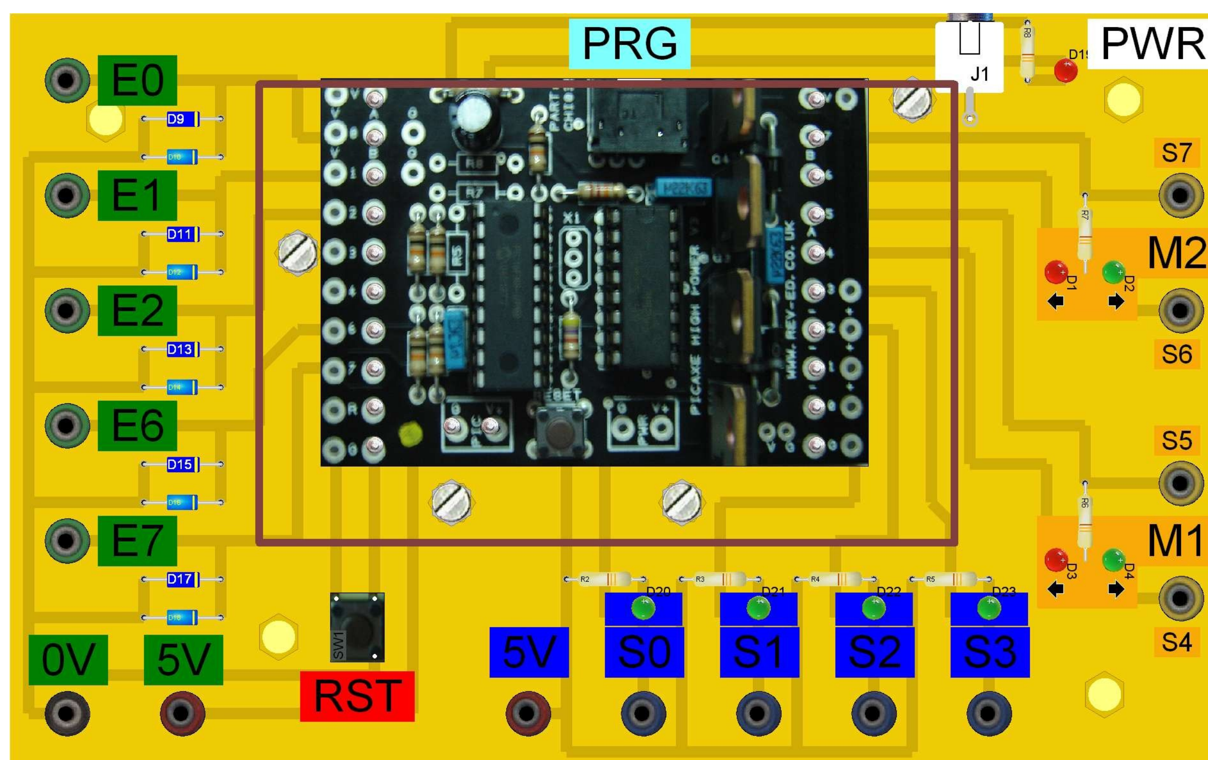


Figura 97: Placa de control de maquetes amb tapa de metacrilat

Un bon complement per a aquest disseny és una placa que permet el treball amb maquetes virtuals, representades per una fotografia on s'identifiquen els sensors i actuadors, i amb connexions als diferents tipus de sensors estàndard i LEDs que monitoritzan els actuadors. Una altra vegada he d'agrair a en Jordi Regalés (de fet la idea d'aquesta placa va ser seva) i a en Joan Busquets la seva col·laboració i paciència.

La placa també es a una sola cara, i amb connexions de bananes de 2 mm. Porta com a sensors:

- 1 LDR
- 1 sensor de temperatura Dallas DS18B20
- 1 sensor infraroig codis SIRC
- 2 potenciòmetres
- 5 polsadors

I per a monitoritzar els actuadors

- 4 LEDs per a les sortides MOSFET
- 2 grups de 2 LEDs per indicar el sentit de gir de les dos sortides per a motors.

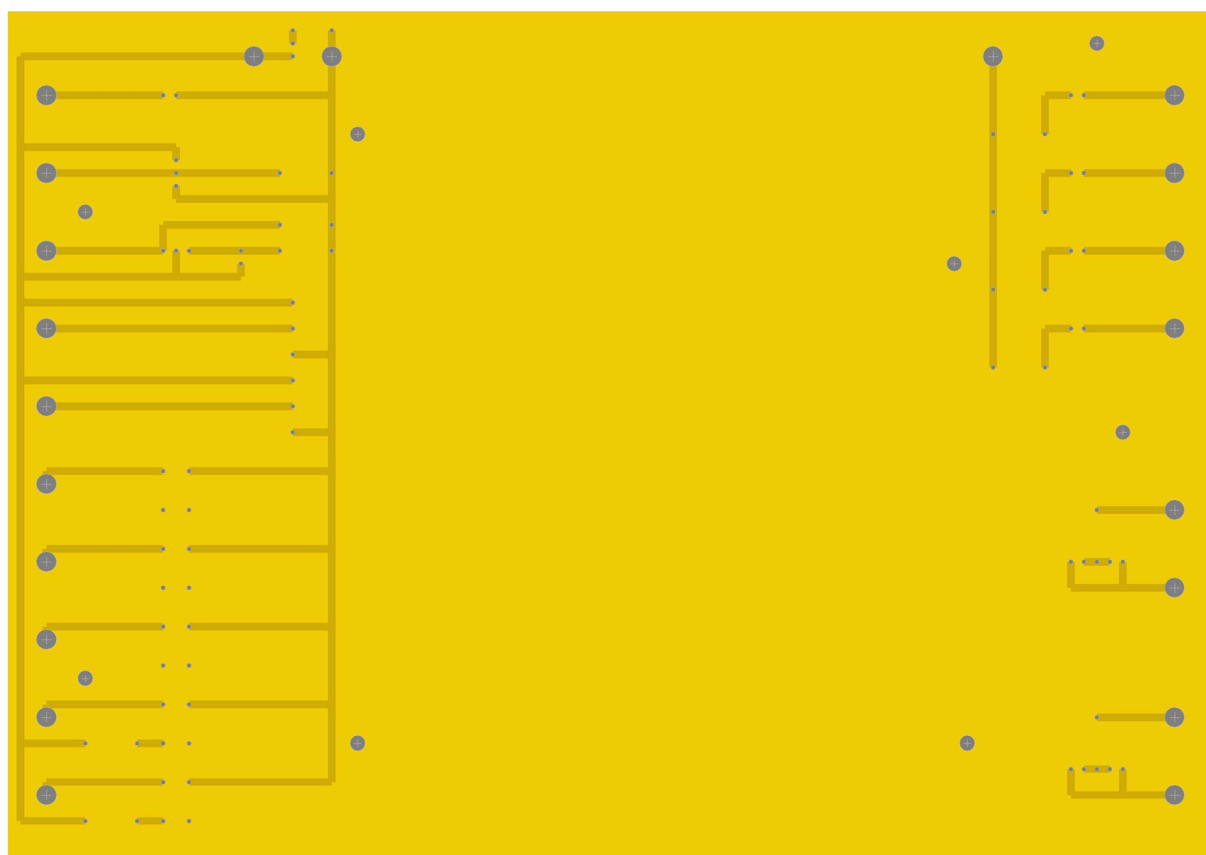


Figura 98: PCB placa de maquetes virtuals

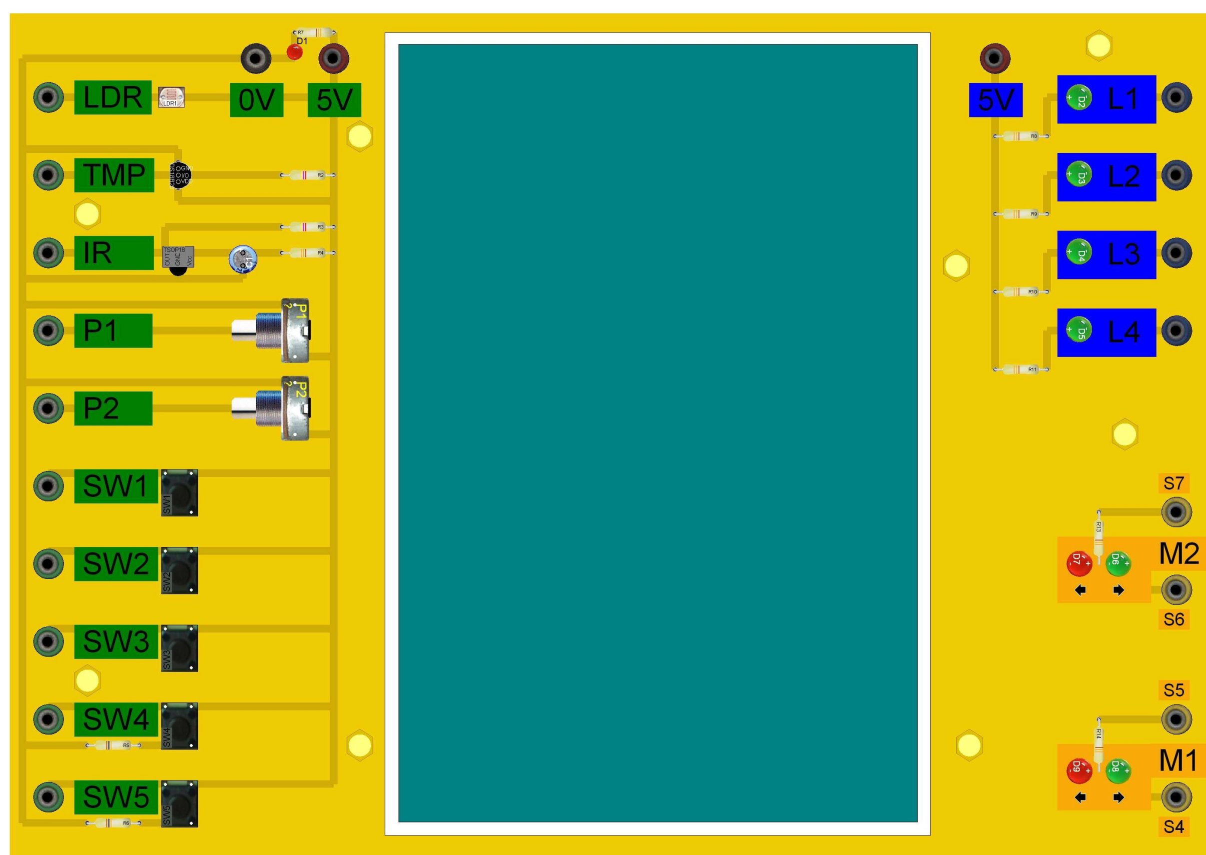


Figura 99: Placa de maquetes virtuals acabada

La placa té al mig espai per col·locar una fotografia de la maqueta que identifiqui els diferents sensors i actuadors. Una vegada depurat el programa, l'alumne pot connectar la placa de control a la maqueta real. D'aquesta manera evitem provar en mecanismes reals els programes defectuosos, que podrien, en alguns casos, tenir conseqüències desastroses.

XXVI. El microcontrolador PICAXE-28X

Aquest xip permet fer projectes molt més ambiciosos. Com sempre, l'increment del nombre de potes dificulta el disseny del circuit imprès, però la potència del xip s'ho mereix.

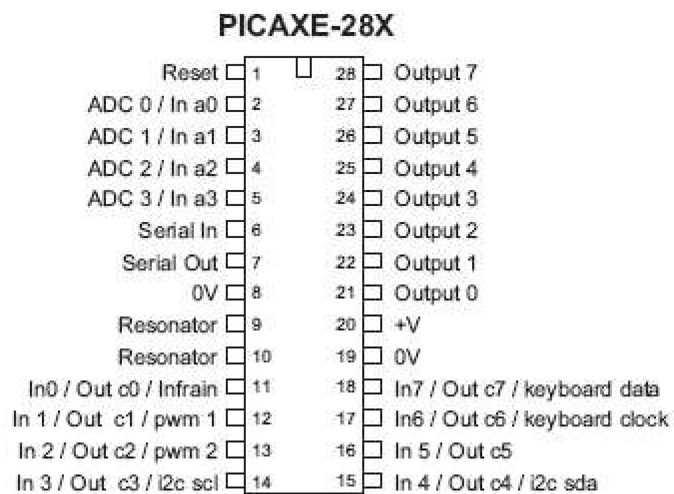


Figura 100: Pinout del PICAXE-28X

Veiem algunes de les seves característiques:

- ☑ De 8 a 16 sortides digitals
- ☑ De 4 a 12 entrades digitals
- ☑ 4 entrades analògiques
- ☑ 2 sortides de modulació d'amplada de polsos (PWM)
- ☑ Interfície I2C
- ☑ Lectura de teclats d'ordinador
- ☑ Recepció de codis infrarojos SIRC
- ☑

Aquestes funcionalitats, així com la seva complexitat, fan que aquest xip sigui molt adient per realitzar treballs de recerca, on l'alumne disposa del temps,

bagatge i motivació suficient per aprofitar-lo al màxim.

Per a l'etapa de familiarització i recerca és molt interessant la placa AXE020, que inclou un PICAXE-28 amb el circuit de programació i un ULN2803A connectat a les 8 sortides fixes.

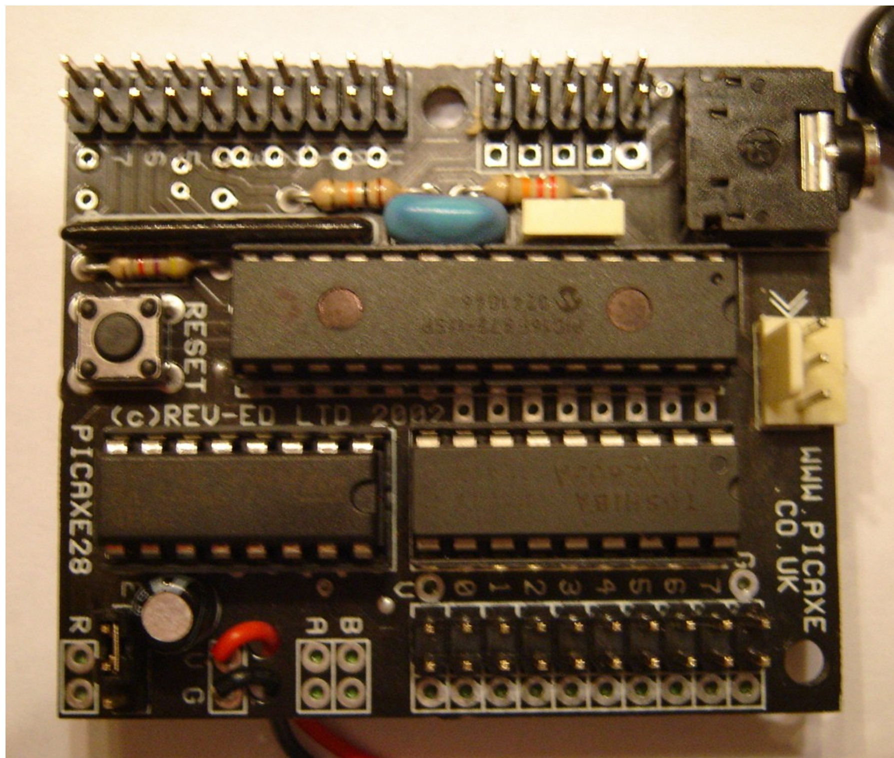


Figura 101: Placa AXE020

XXVII. Perifèrics I2C

Els PICAXE més potents (PICAXE-18X, PICAXE-28X, PICAXE-40X) permeten la connexió directa de perifèrics I2C a les podes SDA i SCL. Només hem de connectar aquestes línies a un bus I2C amb resistències de pull-up de 4,7 kΩ. Podem connectar més de 100 dispositius slave (esclaus) en aquest bus, on el nostre PICAXE és el master (amo). Naturalment, cal que els diferents dispositius slave tinguin adreces diferents (moltes vegades es pot configurar una part de l'adreça del dispositiu.)

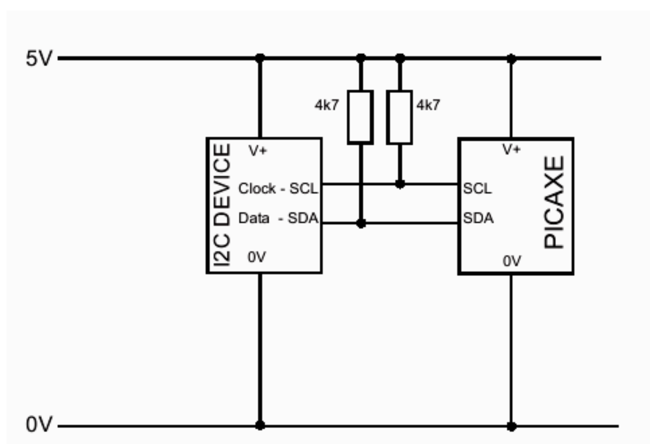


Figura 102: Connexió bus I2C

Alguns dels dispositius disponibles amb aquesta interfície són:

DS1307	Rellotge en temps real (RTC)
24LC256	Memòria EEPROM de 64 kB Altres capacitats amb referències 24LCxxx
SPE030	Mòdul sintetitzador de veu
CMPS03	Brúixola digital
LCD02 S310118	display LCD amb teclat opcional
AXE033	display LCD amb RTC opcional
uM-FPU-V2	Coprocessador matemàtic amb coma flotant
PCF8570P	Memòria RAM 256 bytes
SRF08	Sonar
AD5245	Potenciòmetre digital
PCF8574	Ampliació E/S: 8 línies
MCP23016	Ampliació E/S: 16 línies
GPIO14	Ampliació E/S: 14 línies, 5 ADC, 1 PWM
MAX6953	Control de fins a 4 displays en matrius de 5x7 LEDs
TPA81	Sensor tèrmic orientable amb servo
RLY08	Mòdul amb 8 relés

L'interpret BASIC dels PICAXE incorpora les ordres i2cslave, writei2c, readi2c per treballar amb aquest bus.

Trobareu més informació al document i2c Tutorial, axe110_i2c.pdf (disponible a la web de PICAXE únicament en llengua anglesa) i el manual de BASIC (disponible en castellà).

A continuació veiem uns exemples de programes utilitzant aquest bus. Els programes són obra de Carles Araguz i formen part del treball de recerca que li vaig tutoritzar *Estació meteorològica controlada per un PICAXE*, publicat amb llicència Creative Commons by-nc-sa.

El primer programa borra un display LCD (LCD02 S310118) i hi imprimeix “Lletres” dues vegades una darrera de l’altra, després torna a començar.

```
'Control d'un display LCD I2C
'Autor: Carles Araguz

    b0 = 0                                                  'defineix variable
main:
    i2cslave 0XC6, i2cfast, i2cbyte                         'configura i2c
    writei2c b0, (12,"Lletres")                             'envia valor al LCD
    writei2c b0, (76,108,101,116,114,101,115)               'envia valor al LCD
    goto main                                               'bucle
```

El següent programa llegeix la temperatura d'un DS18B20 i escriu el seu valor al display LCD:

```
'Mostra temperatura en un display LCD I2C
'Autor: Carles Araguz

    b0 = 0
lectura_temp:
    readtemp 0, b1                'llegeix pin I/O 0 (i el desa a b1)
    b2 = b1 / 10                  'conversió a decimal (part entera)
    b3 = b1 // 10                 'conversió a decimal (la resta)
    b2 = b2 + 48                  'conversió a ASCII
```

```
    b3 = b3 + 48                      'conversió a ASCII
    i2cslave 0XC6, i2cfast, i2cbyte   'configura i2c
    writei2c b0, (1,4,b2,b3)          'borra pantalla i cursor, escriu b2 b3
    pause 2000                        'espera 2s
    debug b1                          'debug de b1 (i de tots els registres)
    goto lectura_temp                 'bucle
```

Finalment aquest programa desa 10 valors de la temperatura en una memòria EEPROM 24LC16B i quan termina els llegeix i els mostra per el display LCD.

```
'Enregistra temperatura en una EEPROM I2C
'Autor: Carles Araguz

main:
  b0=0
  for b6=1 to 10
    readtemp 0, b1               'llegeix la temperatura del sensor DS18B20
    b2 = b1 / 10                 'conversió a decimal (part entera)
    b3 = b1 // 10                'conversió a decimal (part restant)
    b4 = b2 + 48                 'conversió de la primera xifra a ASCII
    b5 = b3 + 48                 'conversió de la segona xifra a ASCII
    i2cslave %10100000,i2cfast,i2cbyte           'configura I2C EEPROM
    writei2c b6, (b1)            'guarda valors readtemp
    pause 10
    i2cslave 0XC6, i2cfast, i2cbyte              'configura I2C LCD
    writei2c b0, (12,"Temp:",13,b4,b5,"C")       'envia al LCD
    next b6
  for b6=1 to 10
    i2cslave %10100000,i2cfast,i2cbyte           'configura I2C
    readi2c b6, (b1)
    b2 = b1 / 10                  'conversió a decimal (part entera)
    b3 = b1 // 10                 'conversió a decimal (part restant)
    b4 = b2 + 48                  'conversió de la primera xifra a ASCII
    b5 = b3 + 48                  'conversió de la segona xifra a ASCII
    i2cslave 0XC6, i2cfast, i2cbyte              'configura I2C LCD
    writei2c b0, (b4,b5,"C",32,32)               'envia al LCD
    pause 100
    next b6
  pause 3000                                     'espera 3 s.
  goto main
```

XXVIII. R+D amb microcontroladors PICAXE

Amb aquests xips es poden realitzar treballs de recerca al batxillerat que fa pocs anys només eren assolibles com a projectes de fi de carrera. Veiem alguns exemples de treballs que he tingut el plaer de tutoritzar.

Estació meteorològica

Figura 103: Estació meteorològica completa

Aquest treball va rebre un premi CIRIT l'any 2006.

En aquest treball de recerca de batxillerat (2005-2006), l'alumne Carles Araguz va dissenyat i construir una estació meteorològica basada en un PICAXE-28X i que utilitza el protocol I2C.

L'estació es portàtil i disposa de sensors de temperatura, pressió i humitat, així com de sortides programables. Disposa també d'un display LCD i d'un teclat, així com d'un rellotge en temps real, coprocesador matemàtic amb coma flotant i memòria EEPROM.

Control de temperatura de platines de microscopi

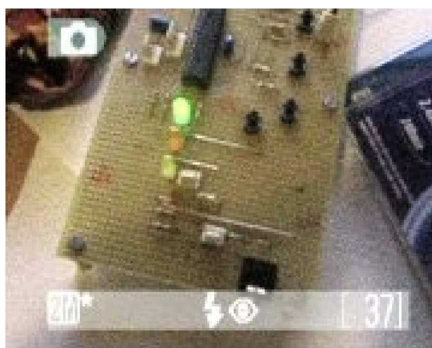


Figura 104: Control de temperatura: placa de control

En aquest treball de recerca del batxillerat (2004-2005) l'alumne Mark Tamaño va dissenyar i construir un sistema amb displays de 7 segments, refrigerador per efecte Peltier i calefactor per efecte Joule controlat per un PICAXE-28X.

Electromedicina econòmica

L'alumna Patricia Olmos va realitzar aquest treball dissenyant i construint un holter que enregistrava en memòria EEPROM les pulsacions del pacient i enregistrava el ritme cardíac durant uns minuts quan el pacient premia un botó. Es tracta d'un projecte de baix cost orientat al tercer món.

Glossari

CCD. Charged coupled device. Sensor d'imatge format per una matriu de punts independents que es llegeixen en forma digital. Moltes càmeres digitals actuals utilitzen aquest tipus de dispositiu que substitueix a l'antic rodet químic fotosensible de les càmeres analògiques.

Motor pas a pas. Motor format per electroimants que s'exciten individualment de forma sincrònica repel·lent i atraient el rotor imantat. Permeten una gran resolució i precisió en la seva posició, per la qual cosa s'utilitzen molt en robòtica i en la industria informàtica: impressores, escànners ...

RS232-C. Protocol de comunicacions sèrie on el 1 lògic es representa per -12 V i el 0 lògic per +12 V. Els emissors han de, com a mínim, donar valors de -5 V i +5 V. Els receptors reconeixen com a 1 els valors per sota de -3 V i com a 0 els valors per sobre de +3 V. Molt utilitzat en ratolins, PDAs, mòdems i d'altres perifèrics informàtics abans de la introducció del protocol USB, molt més ràpid, però que està limitat a distàncies molt més curtes.

Simbologia electrònica

	Tensió d'alimentació
	Massa
	Pila
	Resistència
	Potenciòmetre
	LDR
	NTC
	Polsador NO

S0	Interruptor
C0 100 nF	Condensador
+ C0 100n	Condensador electrolític
L0 100μH	Bobina
Buzzer	Brunzidor
Rel0	Relé
M M0	Motor CC
D0	Díode

LED0	LED
D0	Díode Zener
D0	Díode Shottky
	Fotodíode
	Transistor NPN
	Transistor PNP
IRF530	MOS-FET canal N
	MOS-FET canal P

	Transistor Darlington
	Fototransistor
	Inversor
	Porta OR
	Porta AND
	Porta XOR
	Porta NAND
	Porta NOR

Resum d'electrònica bàsica

Llei d'Ohm

$$I=\frac{U}{R}$$

Potència. Efecte Joule

El corrent elèctric desenvolupa una potència igual al producte de la tensió i la intensitat.

$$P=I\cdot U$$

Quan aquesta potència es converteix en calor parlem de l'efecte Joule.

Resistències

Bàsicament les resistències s'utilitzen per:

- ☑ Produir calor (efecte Joule). Poc utilitzat a electrònica.
- ☑ Limitar la intensitat que la travessa. És el cas de les resistències que posem amb sèrie amb els LEDs.
- ☑ Generar una tensió de referència. Com per la llei d'Ohm, la tensió es reparteix entre dos resistències en sèrie proporcionalment a la seva resistència, si agafem el punt d'unió d'ambdues (i no agafem massa corrent, es a dir, fem un mostreig d'intensitat menyspreable respecte a la que passa per les resistències), la tensió mesurada serà una fracció de la total. És el principi del divisor de tensió.
- ☑ Fixar un valor en repòs de tensió. És el cas de les resistències de pull-up i pull-down.

Les resistències tenen un valor nominal expressat en forma d'anelles de color. La darrera anella indica la tolerància, es a dir, el marge d'error que el fabricant garanteix respecte al valor nominal. Al taller treballarem típicament amb una tolerància del 5% (franja daurada).

Segons amb quin material ha estat fabricada la resistència i el seu gruix aquesta podrà dissipar més o menys calor. Les resistències que utilitzem al taller típicament dissipen sense problemes ¼ W.

Codi de colors de les resistències

El codi de colors s'ha d'interpretar com els dígits del valor nominal. El darrer dígit expressa l'exponent, o nombre de zeros al final de la xifra.

0		negre
1		marró
2		vermell
3		taronja
4		groc

5		verd
6		blau
7		violat
8		gris
9		blanc

Així una resistència amb les franges marró/negre/taronja/daurat té un valor de

marró	negre	taronja	daurat
1	0	3 (indica exponent)	5%

10000, 5% -> R = 10 kΩ ± 5%

Justament l'existència d'aquesta tolerància fa que les resistències només es fabriquin amb uns valors nominals molt concrets. Així, típicament treballarem amb resistències fabricades amb valors de la sèrie E-24, on per a cada dècada (exponent) només trobarem els valors

10	11	12	13	15	16
18	20	22	24	27	30
33	36	39	43	47	51
56	62	68	75	82	91

Condensadors

Els condensadors emmagatzemen càrrega segons la relació

$$C=\frac{Q}{V}$$

on C és la capacitat del condensador (expressada en farads, F). Així, un condensador amb una capacitat de 1 F emmagatzema 1 Coulomb per cada Volt de tensió que li apliquem. Normalment els condensadors que utilitzem tenen capacitats molt més petites, entre el pF i el mF.

Els condensadors normalment s'utilitzen per:

- ☑ Emmagatzemar energia a prop de la demanda, de manera que pugui absorbir l'excés o compensar la mancança (mol interessant per a pics de consum). És per això que sempre connectem molt a prop dels xips un condensador de 100 nF.

- ☑ Fer de filtre del corrent continu. Si bé un condensador no deixa passar el corrent continu, si deixa passar les variacions (corrent virtual), de forma que un condensador deixa passar el corrent altern (filtre passa-alts).

- ☑ Amb sèrie amb resistències, permet fixar temps de referència. La càrrega i descarrega d'un condensador està caracteritzada per la constant $\tau=RC$. Aquest és el principi de funcionament dels oscil·ladors.

Díodes

Els díodes són dispositius semiconductors que només deixen passar el corrent en un sentit. Per això són molt útils en la rectificació del corrent altern, així com per evitar bucles de corrent. El voltatge que cau a un díode polaritzat en directe (gap) és pràcticament constant, depenent únicament del material amb que està construït. Així, els díodes més típics, de silici, absorbeixen una tensió d'aproximadament 0,6 V. De vegades s'utilitza aquesta propietat per generar tensions de referència o per a disminuir la tensió d'alimentació.

LEDs

Els LEDs son díodes que emeten llum. El gap d'aquests díodes depèn del color de la llum emesa, sent més baix per al infrarojos i vermells (al voltant de 1,3 V), més gran pels grocs i verds (al voltant dels 2 V) i molt més gran pels blaus i

blancs (de l'ordre dels 3,5 V). De fet, els LEDs blancs són en realitat LEDs blaus que en el seu interior substancies químiques absorbeixen els fotons i els emeten en diferents freqüències inferiors, que combinades donen el color blanc.

El fet de que la tensió de caiguda a un Led sigui constant obliga a utilitzar una resistència limitadora de la intensitat en sèrie amb el LED per que absorbeixi l tensió sobrant:

$$R = \frac{(U - U_{LED})}{I}$$

Transistors

Els transistors són els dispositius semiconductors per excel·lència. Les tres connexions que tenen s'anomenen col·lector, base i emissor.

Si incrementem el voltatge aplicat a la base d'un transistor NPN i estudiem els corrent que circula pel col·lector apreciem 3 zones de treball:

- Per V_B < 0,6V no detectem corrent al col·lector. Es tracta de la zona de tall, on $I_c = I_e = 0$.
- Per V_B > 0,6 V apreciem una zona on el corrent del col·lector és proporcional al corrent de base. És tracta de la zona lineal, on $I_c = \beta \cdot I_b$ (recordem que $I_e = I_b + I_c$).
- Per valors alts de V_B la intensitat al col·lector no augmenta sensiblement. És tracta de la zona de saturació, on V_{CE} = 0,2 V.

Podem dir que l'electrònica digital es basa en el treball a les zones de tall (nivell lògic 1) i saturació (nivell lògic 0), mentre que l'electrònica analògica treballa a la zona lineal (β és el guany o factor d'amplificació).

Bibliografia

Araguz, Carles. *Estació meteorològica controlada per un PICAXE*. Treball de recerca. Barcelona, gener 2006. Disponible sota llicència by-nc-sa de Creative Commons a http://www.evostudio.com/litus-host/tdr_cal/.

Tamaño, Mark. *Controlador de temperatura PICAXE*. Treball de recerca. Barcelona, gener 2005.

Revolution Education Ltd. *PICAXE MANUAL. SECTION 3. MICROCONTROLLER INTERFACING CIRCUITS*. Version 4.2 05/2004. Disponible a http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual3.pdf

Revolution Education Ltd. *MANUAL PICAXE. BASIC COMMANDS (ES)*. Version ES 1.0 01/2007. Disponible amb la versió 5.1.5 de l'entom de programació PICAXE.

David Lincoln. *Programming and customizing the PICAXE microcontroller*. McGraw-Hill 2006. ISBN 0-07-145765-8.

Revolution Education Ltd. *I2C tutorial*. Disponible a http://www.rev-ed.co.uk/docs/axe110_i2c.pdf

Revolution Education Ltd. *PICAXE Manual. Section 1. GETTING STARTED*. Version 6.0 04/2007. Disponible a http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual1.pdf

Revolution Education Ltd. *PICAXE Manual. Section 2. BASIC COMMANDS*. Version 6.1 06/2007. Disponible a http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual2.pdf

Revolution Education Ltd. *Proyecto de cibermascota PICAXE-08*. Disponible a http://www.rev-ed.co.uk/docs/axe101_es.pdf

Índex alfabètic

Índex d'il·lustracions